

Tomi Silvennoinen

ENERGIATEHOKKUUDEN  
PARANTAMINEN  
KAUKOLÄMMITETYSSÄ  
RIVITALOSSA

Opinnäytetyö  
Talotekniikka


Toukokuu 2014




MAMK

University of Applied Sciences

# KUVAILULEHTI

		<b>Opinnäytetyön päivämäärä</b>  30.4.2014
<b>Tekijä(t)</b> Tomi Silvennoinen		<b>Koulutusohjelma ja suuntautuminen</b> Talotekniikan koulutusohjelma
<b>Nimeke</b>  Energiatehokkuuden parantaminen kaukolämpitetyssä rivitalossa		
<b>Tiivistelmä</b>  <p>Opinnäytetyön tavoitteena on luoda työn tilaavalle yritykselle kattava yhtenäinen materiaali energiatehokkuuteen ja sen parantamiseen tähtäävistä vaihtoehdoista. Työn tarkoituksena on olla apuna energiatehokkuuteen tähtäävien hankkeiden arvioinnissa ja suunnittelussa.</p> <p>Työhön koottiin laaja materiaali kaukolämpöön liitetyn rivitalokiinteistön eri energiatehokkuuden parannuskeinoista. Käsiteltäviä keinoja olivat rakenteisiin kohdistuvat ratkaisut, taloteknisten järjestelmien parantaminen sekä kiinteistön käyttöön liittyvät energiansäästötoimenpiteet. Pääpaino tutkimuksessa pidettiin kuitenkin taloteknisissä ratkaisuissa ja lämmitysenergian kulutuksen vähentämisessä. Kerättyä materiaalia käytettiin hyödyksi, kun tutkittiin kohdekiinteistön energiatehokkuuden parantamista sekä sen taloudellisuutta ja kannattavuutta.</p> <p>Esimerkkikohteen avulla tutkituista parannusehdotuksista taloudellisin perustein parhaiksi valikoituivat patteriverkoston perussäätö ja yläpohjan lisäeristäminen, joissa vuotuiset säästöt olivat suhteessa investointikustannuksiin suuret. Suuria laskennallisia säästöjä toivat myös muut toimenpiteet, mutta niiden ongelmana olivat suuret investointikustannukset. Suurimmat vuosittaiset säästöt laskelmien perusteella toisi ilmanvaihtojärjestelmän kehittäminen lämmöntalteenotolla varustetuksi koneelliseksi tulo- ja poistoilmanvaihdoiksi, mutta tähän toimenpiteeseen ryhtymisen ongelmana on suuri investointikustannus, joka nostaa takaisinmaksuajan suureksi. Toisaalta pelkän takaisinmaksuajan huomioiminen ei ole yleensä paras vaihtoehto, koska useiden parannustoimenpiteiden yhteydessä saadaan energian säästön lisäksi myös muita hyötyjä, esimerkiksi asumisviihtyvyyden lisääntyminen.</p>		
<b>Asiasanat (avainsanat)</b>  energiatehokkuus, korjausrakentaminen, rivitalo, kannattavuus		
<b>Sivumäärä</b>  47 + 8	<b>Kieli</b>  Suomi	<b>URN</b>
<b>Huomautus (huomautukset liitteistä)</b>		
<b>Ohjaavan opettajan nimi</b>  Mika Kuusela		<b>Opinnäytetyön toimeksiantaja</b>  HTTC Oy

## DESCRIPTION

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">MAMK</div> <div style="font-size: 0.8em; margin: 0;">University of Applied Sciences</div> </div>		<b>Date of the bachelor's thesis</b>  30.4.2014	
<b>Author(s)</b> Tomi Silvennoinen		<b>Degree programme and option</b> Building Services Engineering	
<b>Name of the bachelor's thesis</b>  Improvement of energy efficiency in district heated row house			
<b>Abstract</b>  <p>The aim of this thesis was to create comprehensive material about the improvement of energy efficiency for the commissioning company. This thesis was intended to help evaluating and designing in energy efficiency projects.</p> <p>Different ways of improving of energy efficiency in district heated row house were collected to the thesis. Structural solutions and building service systems were the main things to deal with in the research. Collected material was utilized when energy efficiency and life-long economy were researched in the example building.</p> <p>According to the calculations of the example building, economically best ways to improve energy efficiency were adjustment of radiator network and improvement of roofs isolation. Both of those had quite big saving compared to investments. Also many other improvement ways brought big savings but payback times were pretty long. The biggest savings came with heat recovery system but problem of this operation was the big investment which made payback time too long. In the other way payback time was not only way to justify the operation. In addition to energy savings almost every improvement way gave also other benefits for example living comfort increased because of improvement.</p>			
<b>Subject headings, (keywords)</b>  energy efficiency, renovation, row house, viability			
<b>Pages</b> 47 + 8	<b>Language</b> Finnish	<b>URN</b>	
<b>Remarks, notes on appendices</b>			
<b>Tutor</b>  Mika Kuusela		<b>Bachelor's thesis assigned by</b>  HTTC Oy	

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	1
2	KIINTEISTÖJEN ENERGIANKULUTUS.....	2
2.1	Lämmitysenergian tarve .....	2
2.1.1	Lämmitysjärjestelmä.....	4
2.1.2	Ilmanvaihtojärjestelmä.....	4
2.1.3	Käyttövesijärjestelmä.....	5
2.2	Sähköenergian kulutus.....	7
3	ESIMERKKIKOHTTEEN KUVAUS .....	8
3.1	Rakenteet .....	9
3.2	LVI-järjestelmät.....	10
3.3	Muut järjestelmät .....	10
4	ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN KEINOT.....	10
4.1	Rakenteellinen parantaminen.....	12
4.1.1	Yläpohja ja alapohja .....	12
4.1.2	Ulkoseinät .....	13
4.1.3	Ikkunat ja ovet.....	14
4.1.4	Tiivisteet ja tiiviys.....	15
4.2	Lämmitysjärjestelmän parantaminen.....	16
4.2.1	Säätölaitteet ja pumpput.....	16
4.2.2	Perussäätö .....	17
4.2.3	Lämmitysjärjestelmän eristykset .....	18
4.2.4	Järjestelmän muutos.....	19
4.3	Ilmanvaihdon parantaminen .....	19
4.3.1	Lämmöntalteenotto .....	19
4.3.2	Ilmanvaihdon säätö ja puhaltimet .....	22
4.3.3	Käyntiajat .....	23
4.3.4	Poistoilmalämpöpumppu .....	24
4.4	Käyttövesijärjestelmän parantaminen.....	25
4.4.1	Virtaamatarkastelu .....	25
4.4.2	Putkiston eristäminen ja lämpötilat.....	26
4.4.3	Huoneistokohtainen veden mittaus .....	26
4.4.4	Aurinkoenergian hyödyntäminen.....	27

4.5	Kuluttajasähkön kulutuksen vähentäminen .....	28
5	PARANNUSTOIMENPITEIDEN LASKENNALLINEN ENERGIAANSÄÄSTÖ KOHDERAKENNUKSESSA .....	30
5.1	Rakenteellisen parantamisen energiansäästö .....	30
5.1.1	Yläpohja ja alapohja .....	31
5.1.2	Seinät, ikkunat ja ovet .....	32
5.2	Lämmitysjärjestelmän parantamisen energiansäästö .....	33
5.3	Ilmanvaihtojärjestelmän parantamisen energiansäästö .....	33
5.4	Käyttövesijärjestelmän parantamisen energian säästö .....	35
6	INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS .....	36
6.1	Rakenneparannusten elinkaaritalous .....	39
6.2	LVI-tekniikan parannusten elinkaaritalous .....	40
7	TULOSTEN TARKASTELU .....	41
8	YHTEENVETO .....	44
	LÄHTEET .....	46
LIITTEET		
1	Rakenneosia koskevat energiansäästölaskelmat	
2	Isover Energiansäästölaskurin tulokset	
3	Ilmanvaihdon parantamisen laskelmat	
4	Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Excel)	
5	Talous- ja elinkaarilaskelmat	

## 1 JOHDANTO

Nykypäivän sana rakentamisessa ja asumisessa on energiatehokkuus. Energiatehokkuus ja energiankulutus kiinnostavat ihmisiä, koska sillä on suora vaikutus asumiskustannuksiin. Puhuttaessa yksittäisiä rakennuksia suuremmassa mittakaavassa kiinteistöjen energiatehokkuudella on merkittävä vaikutus koko yhteiskunnan energiankulutukseen. Rahallisen hyödyn lisäksi energiatehokkuuteen ajavat erilaiset energiankulutusta käsittelevät määräykset. Nämä määräykset ohjailevat uudis- ja korjausrakentamista. Euroopan unionin mukana myös Suomi on sitoutunut pienentämään kasvihuonepäästöjään sekä parantamaan energiatehokkuuttaan 20 %. Päästäkseen näihin tavoitteisiin energiatehokkuutta on kehitettävä myös rakennusten osalta. /1./

Keinoja näiden tavoitteiden saavuttamiseen on monia ja yhdeksi niistä voitaneen laskea energiatodistusuudistukset. Suomessa energiatodistus uudistui 1.6.2013, ja nykyään se tarvitaan vanhoissakin rakennuksissa myynnin tai vuokrauksen yhteydessä (osalle rakennuksista on siirtymäaikoja rakennuksen iästä ja tyypistä riippuen). Uudessa energiatodistusasetuksessa määrätään energiatodistuksen sisällöstä muun muassa seuraavaa: ”Todistuksessa annetaan suosituksia toimista, joilla voidaan parantaa kustannustehokkaasti rakennuksen energiatehokkuutta, ellei kyseessä ole uudisrakennus tai rakennus, jolle ei tällaisia toimia voida osoittaa. Todistuksessa voidaan lisäksi antaa muita tietoja rakennuksen energia- ja ympäristöominaisuuksista.” /2./

Opinnäytetyön tarkoitus on perehtyä kaukolämpöön liitetyn rivitalokiinteistön mahdollisiin energiansäästötoimenpiteisiin, niiden järkevyyteen ja kannattavuuteen taloudellisesti. Työssä käsitellään rakenteellisia ja taloteknisiä ratkaisuja sekä kiinteistön käyttöön liittyviä energiaa säästäviä toimenpiteitä. Tarkoitus on esitellä mahdollisuuksia mahdollisimman laajasti, mutta pääpaino työssä pidetään kuitenkin talotekniseen parantamiseen liittyvissä asioissa. Opinnäytetyössä ei käsitellä niinkään E-lukua, vaan puhtaasti kiinteistön energian kulutusta ja parannuskeinoilla saatavaa energian säästöä ja sitä kautta myös taloudellista säästöä. Tarkastelut tehdään kirjallisuuteen ja laskennallisiin menetelmiin pohjautuen.

Opinnäytetyön tavoitteena on luoda työn tilaavalle yritykselle yksi kattava materiaali mahdollisista energiatehokkuuden parannuskeinoista ja niiden energiansäästöpotentiaalista kaukolämpöön liitetyissä rivitaloissa. Tutkimuksen on tarkoitus helpottaa energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävien toimenpiteiden arviointia.

## **2 KIINTEISTÖJEN ENERGIANKULUTUS**

Suomen koko rakennuskannan koko oli vuonna 2010 arvioiden mukaan lähes 2000 Mm<sup>3</sup>. Rakennusten energian kulutuksen osuus Suomen primäärienergian kulutuksesta on noin 40 %, joten sillä on suuri vaikutus koko maamme päästöihin. Asuin- ja palvelurakennusten osuus koko rakennustilavuudesta on noin 65 % (1300 Mm<sup>3</sup>) ja tämä osuus kuluttaa energiaa 75 % rakennusten kokonaiskulutuksesta. Rakennusten energian kulutus koostuu lämmitysenergiasta ja kiinteistöjen kuluttamasta sähköenergiasta. /3, s.10; 4, s.7./ Lämmitysenergian nettotarve muodostuu johtumishäviöistä, vuotoilman lämpöhäviöistä, korvausilman ja tuloilman lämpenemisestä tilassa. Lämmitysenergia tuotetaan rakennukseen käytössä olevalla lämmöntuotantomuodolla. Tuotantomuotoja ovat mm. kaukolämpö, öljylämmitys, maalämpö ja suora sähkölämmitys. Tuotettu lämpö käytetään eri järjestelmissä hyödyksi mahdollisimman tehokkaasti. /5./ Opinnäytetyössä käsiteltävässä rakennuksessa lämmitysmuotona on kaukolämpö. Seuraavissa kohdissa pureudutaan tarkemmin kiinteistön energiankulutuksen osaluokkiin ja tarkastellaan, mistä seikoista kokonaiskulutus koostuu.

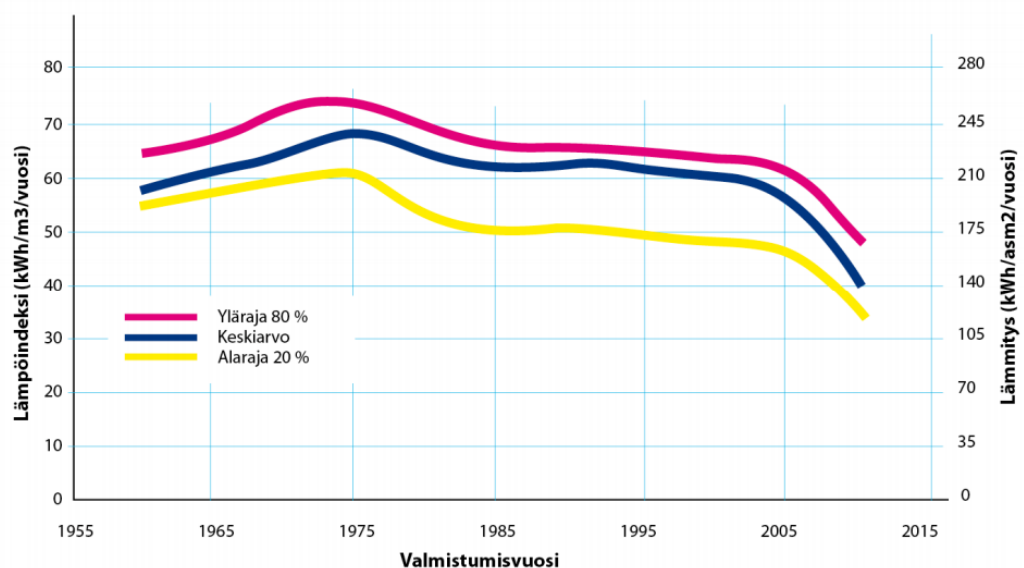
### **2.1 Lämmitysenergian tarve**

Lämmitysenergiaa kuluu rakennuksessa rakennuksen vaipan lämpöhäviöiden kattamiseen, ilmanvaihdon tarvitsemaan lämmitysenergiaan ja käyttöveden lämmittämiseen. Kuvassa 1 on selvitetty 1970 – 1990 -lukujen rivitalojen lämpöenergiatasetta eli sitä, mihin lämpöenergiaa kuluu ja mistä sitä rakennukseen tulee /6/.



**KUVA 1. Lämpöenergiatase 1970 – 1990 -lukujen rivitaloissa /6/**

Lämmitysjärjestelmän tehtävänä on pitää rakennuksen sisälämpötila haluttuna ja käytötarkoitukseen sopivana. Lämmitysjärjestelmä tuo rakennuksen osiin ja järjestelmiin lämpöenergiaa, jolla katetaan rakennuksen lämmöntarve. Lämmöntarve muodostuu rakennuksen tilojen lämmitysenergiasta, ilmanvaihdon tarvitsemasta lämpöenergiasta ja käyttöveden lämmittämiseen kuluvasta energiasta. Lämmitysjärjestelmän energian kulutuksessa on huomioitava myös lämmönjaon ja -luovutuksen häviöt, lämmitysenergian tuoton häviöt ja muunnokset, lämpimän käyttöveden siirron, varastoinnin ja kiertojohtojen häviöt sekä lämmitysjärjestelmän apulaitteiden sähkönkulutus. /5./ Kuvassa 2 on esitetty rivitalojen lämmitysenergian kulutusta valmistusvuosien mukaan.



**KUVA 2. Lämmitysenergian kulutus, noin 1000 kaukolämmitteisen rivitalon kulutustiedot /6/**



### **2.1.1 Lämmitysjärjestelmä**

Usein käytössä olevassa vesikiertoisessa lämmitysjärjestelmässä lämpö luovutetaan lämmitysjärjestelmän nesteestä kiinteistön sisäilmaan perinteisesti esimerkiksi lämmityspattereiden avulla. Lämmitysjärjestelmän oikea toiminta on tärkeää energiatehokkuuden ja asumismukavuuden kannalta. Oikeaan toimintaan kuuluu lämmön oikeanlainen jakaminen huonetiloissa. Tarkoitus on saada lämmitysjärjestelmän lämpö kulkemaan aina lämmityspatterille asti esimerkiksi ikkunan alle, jotta konvektiovirtaukset ovat oikean suuntaisia. Oikea sisälämpötila on noin 20 - 22 °C, tästä poikkeaminen ei ole suotavaa. Sisälämpötilan nostaminen 1 °C:lla tarkoittaa noin 5 %:n kasvua lämmityskustannuksiin. Toisaalta lämpötilan pudottaminen vaikuttaa nopeasti asumisviihtyvyyteen, koska muun muassa vedontuntemus lisääntyy nopeasti lämpötilan laskiessa.

/7./

### **2.1.2 Ilmanvaihtojärjestelmä**

Ilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa suuren osan koko rakennuksen kuluttamasta energiämäärästä, olipa kyseessä minkä tyyppinen ilmanvaihto tahansa. Ilmanvaihto voi tapahtua painovoimaisen ilmanvaihdon, koneellisen poistoilmanvaihdon tai koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon avulla.

Painovoimaisessa ilmanvaihdossa ilma virtaa huonetiloista lämpötilaerojen vaikutuksesta ulos. Ilma virtaa kanavia pitkin ylös katolle, koska lämpimän ilman tiheys on pienempi kuin viileän ilman. Ilman virtaus tapahtuu siis luonnollisesti ilman puhaltimia. Tämä tarkoittaa, että ilmanvaihto on vahvasti olosuhteiden armoilla. Ilma voi tietyissä olosuhteissa virrata jopa väärin päin, katolta huonetiloihin. Huonetilasta poistuvan ilman tilalle tulee raitista ilmaa suoraan ulkoa venttiilien, rakojen tai vaipan vuotokohtien kautta. Tämä raitis ilma on lämmitettävä lämmitysjärjestelmän avulla oikeaan lämpötilaan huonetilassa ja lämmittämiseen kuluu energiaa, mutta varsinainen ilman vaihtaminen ei energiaa kuluta.

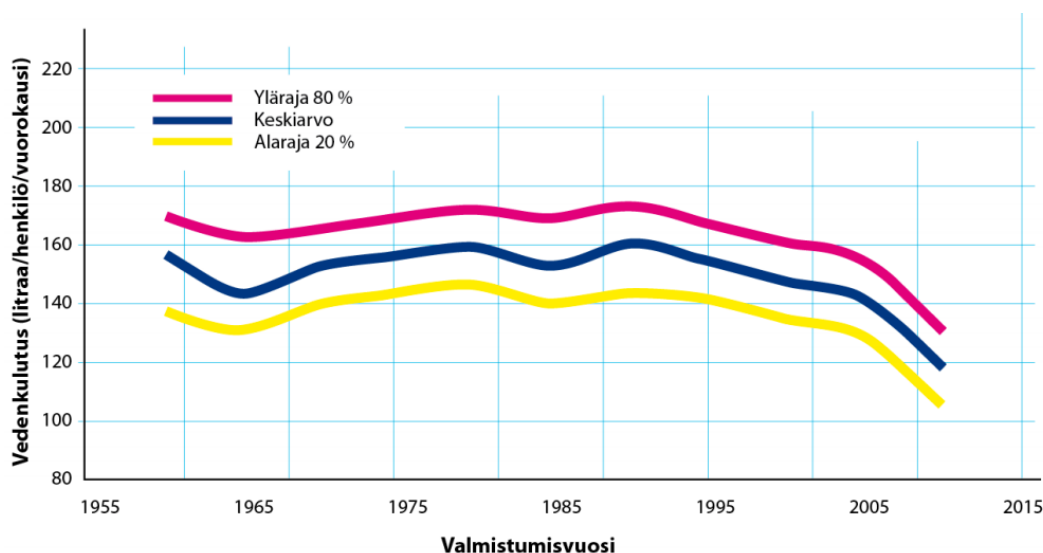
Koneellisessa poistoilmanvaihdossa on poistoilmakanavisto, kuten painovoimaisessakin järjestelmässä, mutta ilma saadaan virtaamaan poistopuhaltimella, joka kuluttaa sähköenergiaa. Poistopuhaltimen avulla ilmavirrat saadaan pysymään oikean suuruisina olosuhteista riippumatta. Raitisilma tulee normaalisti huonetiloihin, kuten paino-

voimaisessa järjestelmässä, ja se on lämmitettävä lämmitysjärjestelmän avulla huoneistossa. Ulos puhallettava jäteilma on huoneilman lämpöistä, eikä siitä tavallisessa järjestelmässä oteta lämpöä talteen millään tavalla.

Koneellisessa tulo- ja poistoilmanvaihdossa on omat kanavistonsa tuloilmalle ja poistoilmalle. Tulo- ja poistoilmalle on myös omat puhaltimensa, tämä mahdollistaa ilman esilämmittämisen, lämmöntalteenottamisen ja jäähtymisen ilmanvaihtokoneessa. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto mahdollistaa myös tiiviimmän rakentamisen, eikä lämpövuotoja tapahdu niin paljon. Tiivis rakentaminen on tärkeää myös koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihtojärjestelmän oikean toiminnan kannalta.

### **2.1.3 Käyttövesijärjestelmä**

Suomalainen kuluttaa käyttövettä tyypillisesti 90 - 240 litraa per asukas vuorokaudessa, mikä tarkoittaa keskimääräistä 155 litran kulutusta asukasta kohti vuorokaudessa. Käyttövesijärjestelmä on suuri energiasyöppö suuren lämpimän käyttöveden kulutuksen takia. Rakennuksen lämmitysenergian kulutuksesta jopa 30 % menee käyttöveden lämmittämiseen, iäkkäämmillä rakennuksilla osuus on usein pienempi suurien vaipan häviöiden takia. Lämmintä vettä kuluu keskimäärin 40 – 50 l/vrk henkilöä kohden, mikä on noin 40 % käyttöveden kokonaiskulutuksesta. Tämän 40 %:n lämmittämiseen kuluu noin 63 % käyttövesijärjestelmän kuluttamasta lämpöenergiasta ja loput 37 % kuluu käytöstä riippumattomiin lämpöhäviöihin. Energiaa tämä kuluttaa vuosittain 800 – 1200 kWh/asukas. Asuinrakennusten käyttöveden kulutukseen vaikuttaa mm. asukasrakenne, rakennuksen ikä, putkistonkunto, vesikalusteiden ominaisuudet, käytötottumukset ja kulutusseurannan tapa. Keskimääräistä käyttövedenkulutusta rivitaloissa valmistumisvuoden mukaan on havainnollistettu kuvassa 3 ja sen muodostumista on esitetty kuvassa 4. /4; 7./



**KUVA 3. Vedenkulutus, noin 1000 kaukolämmitteisen rivitalon kulutustiedot /6/**



**KUVA 4. Vuosikauden vedenkulutuksen jakaantuminen /7/**

Lämpimän käyttöveden kiertojohtoon lämpöhäviöt kuuluvat myös lämpimän käyttöveden energian kulutukseen. Niiden osuus varsinkin vanhemmissa rakennuksissa on suuri muun muassa huonon eristämisen takia. Muutkin järjestelmähäviöt pienentävät energiatehokkuutta käyttövesijärjestelmässä, esimerkiksi huono varaajan tai käyttöveden lämmönsiirtimen eristystaso. Lämmintä käyttövettä tehdään, kuten lämpöenergiaa lämmitysjärjestelmään, mutta sen kulutus ei ole niin tasaista. Käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia  $Q_{lkv, netto}$  lasketaan kaavalla 1. Lämpötilaeron kaavassa käytetään arvoa 50 °C, ellei ole tarvetta muille arvoille. /8./

$$Q_{lkv,netto} = \rho_v c_{pv} V_{lkv} (T_{lkv} - T_{kv}) / 3600 \quad (1)$$

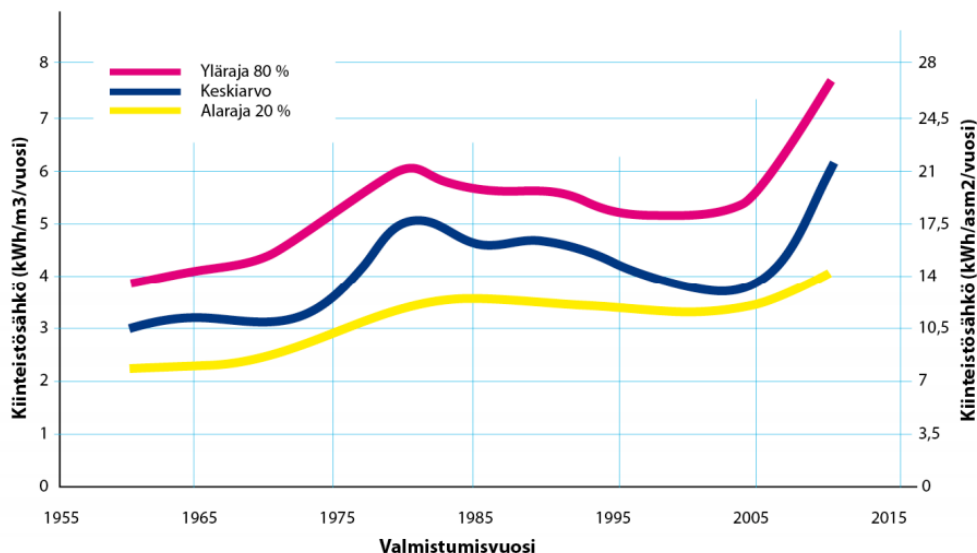
jossa

$Q_{lkv, netto}$	käyttöveden lämmityksen tarvitsema lämpöenergia eli nettoenergiantarve, kWh
$\rho_v$	veden tiheys, 1000 kg/m <sup>3</sup>
$c_{pv}$	veden ominaislämpökapasiteetti, 4,2 kJ/kgK
$V_{lkv}$	lämpimän käyttöveden kulutus, m <sup>3</sup>
$T_{lkv}$	lämpimän käyttöveden lämpötila, °C
$T_{kv}$	kylmän käyttöveden lämpötila, °C
3600	kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos kilowattitunneiksi, s/h

## 2.2 Sähköenergian kulutus

Sähköenergiankulutus voidaan jakaa kiinteistöissä kahteen osaan, kiinteistösähköön ja kuluttajasähköön. Seuraavissa kappaleissa esitellään lyhyesti, mistä nämä osat koostuvat.

Kiinteistösähköllä tarkoitetaan pitkälti kiinteistön asukashuoneistojen ulkopuolella käytettävää sähköä, esimerkiksi pihavalaistusta, autolämmityksen, lvi-järjestelmien pumppujen ja puhaltimien käytössä kuluvaa sähköä. Keskimääräisesti kiinteistösähkön osuus hoitokuluista on vain 4 %, mutta silti energiaa ei kannata tuhlaa tässäkään asiassa. Kuvasta 5 nähdään kiinteistösähkön kulutuksen määrän kehitystä rivitaloissa valmistumisvuoden mukaan. /7; 9./



**KUVA 5. Kiinteistösähkön kulutus, noin 1000 kaukolämmitteisen rivitalon kulu-  
tustiedot. /6/**

Rakennuksen oman kulutuksen lisäksi asukkaan ratkaisut ja teot vaikuttavat sähköenergian kulutukseen. Sähköä kuluu kotitalouksissa lähes kaikkeen tekemiseen. Kulutusta voidaan jakaa kodinkoneiden, valaistuksen, viihde-elektroniikan ja tietotekniikan kuluttamaan sähköenergiaan. Valaistuksella on keskimäärin 22 %:n osuus asunnon kuluttajasähköstä. Valaistukseenkin on viime vuosina kiinnitetty paljon huomiota, ja sen osuus sähkön kulutuksesta onkin lähtenyt putoamaan. Kodinkoneiden energiatehokkuuden parantumisen myötä niiden kuluttaman energian kokonaismäärä on viime aikoina laskenut, vaikka laitteiden määrä on lisääntynyt. Viihde-elektroniikan ja tietotekniikan osalta energiatehokkuus ei ole parantunut samaa tahtia kodinkoneiden kanssa, koska ne eivät kuulu tiettyjen energiatehokkuutta koskevien määräysten piiriin. Laittekokojen kasvu elektroniikan osalta lisää myös niiden sähkön kulutusta. /7/.

### 3 ESIMERKKIKOHTTEEN KUVAUS

Opinnäytetyö esimerkkitilana on Mikkelin Lähemäessä sijaitseva vuonna 1985 rakennettu neljän huoneiston rivitalo. Kaikki huoneistot sijaitsevat yhdessä tasossa. Kellarikerroksessa on varastotiloja ja lämmönjakohuone. Kaikki kiinteistön tilat ovat lämpimiä. Maanpäällinen kerrosala kiinteistössä on 400,3 m<sup>2</sup> ja lämmitetty nettoala 360,5 m<sup>2</sup>. Saatujen vuonna 2012 toteutuneiden kulutuslukemien mukaan kaukolämpöä kuluu 59 MWh ja käyttövettä 530m<sup>3</sup>. Taloyhtiön sähkönkulutus oli 2500 kWh. Nor-

meeratuksi kaukolämmönkulutukseksi saadaan kaavan 2 avulla 58,2 MWh ja ominaiskulutukseksi 49,2 MWh/brm<sup>3</sup>. Lämmitystarveluvut Mikkeliin on saatu Etelä-Savon Energia Oy:n tiedotteesta. Kohteen muiden vuosien kulutustietoja ei ollut saatavilla, mutta asukaskanta on pysynyt melko muuttumattomana, joten suuria heittoja kulutuksessa ei välttämättä vuositasolla ole. /10; 11./

$$Q_{norm} = \frac{S_{N\text{ vpkunta}}}{S_{toteutunut\text{ vpkunta}}} Q_{toteutunut} + Q_{lqv} \quad (2)$$

jossa

$Q_{norm}$	rakennuksen normeerattu lämmitysenergiankulutus
$Q_{toteutunut}$	rakennuksen tilojen lämmittämiseen kuluva energia
$Q_{lqv}$	käyttöveden lämmittämisen vaatima energia (kaava 1)
$S_{N\text{ vpkunta}}$	normaalivuoden tai –kuukauden toteutunut lämmitystarveluku
$S_{toteutunut\text{ vpkunta}}$	toteutunut lämmitystarveluku vuosi- tai kuukausitasolla

### 3.1 Rakenteet

Kiinteistön rakenteita ei ole muutettu sitten rakentamisen. Ulkoseinät ovat pääosin tiiliverhotut ja yläosat lautaverhotut. Rakennuksen alapohja on maanvarainen laatta. Yläpohjan eristeenä 300mm mineraalivilla. Rakenneosien pinta-alat ja U-arvot on esitetty taulukossa 1.

**TAULUKKO 1. Esimerkkikohteen rakenneosien pinta-alat ja U-arvot**

Rakenneosa	Pinta-ala (m <sup>2</sup> )	U-arvo (W/m <sup>2</sup> K)
Ulkoseinä	179,9	0,28
Yläpohja	322,6	0,15
Alapohja (maanvastainen)	322,6	0,4
Muu maanvastainen rakennusosa	65,3	0,4
Ikkunat	57	2,1
Ulko-ovet	24,6	1,4

### **3.2 LVI-järjestelmät**

Kiinteistö on liitetty kunnalliseen vesi- ja viemäriverkkoon. Rakennuksen lämmitysmuotona on kaukolämpö. Lämmitysjärjestelmänä toimii vesikiertoinen patterilämmitys. Patterilämmityksen lisäksi huoneistojen kylpyhuoneissa ja saunoissa on sähköinen lattialämmitys. Kaukolämmön lämmönsiirrin on uusittu 2007, ja sen eristykset ovat nykymääräysten mukaiset. Siirtimen uusimisen yhteydessä verkoston tasapainotus on tarkastettu, mutta varsinaisesta säädöstä ei ole mitään tietoja. Muilta osin lämmitysjärjestelmä ja sen osat ovat alkuperäiset ja päällisin puolin hyväkuntoiset.

Kiinteistön ilmanvaihtona toimii koneellinen poistoilmanvaihto. Jokaisella huoneistolla on oma poistopuhaltimensa, jota ohjataan huoneistokohtaisesti liesikuvun yhteydessä löytyvästä säätimestä. Poistoilmakanavat on puhdistettu vuonna 2013. Poistoilma-venttiilien säädöistä tai virtaamista ei ole tietoja. Poistoilmakanavien eristeet ovat hyvässä kunnossa.

### **3.3 Muut järjestelmät**

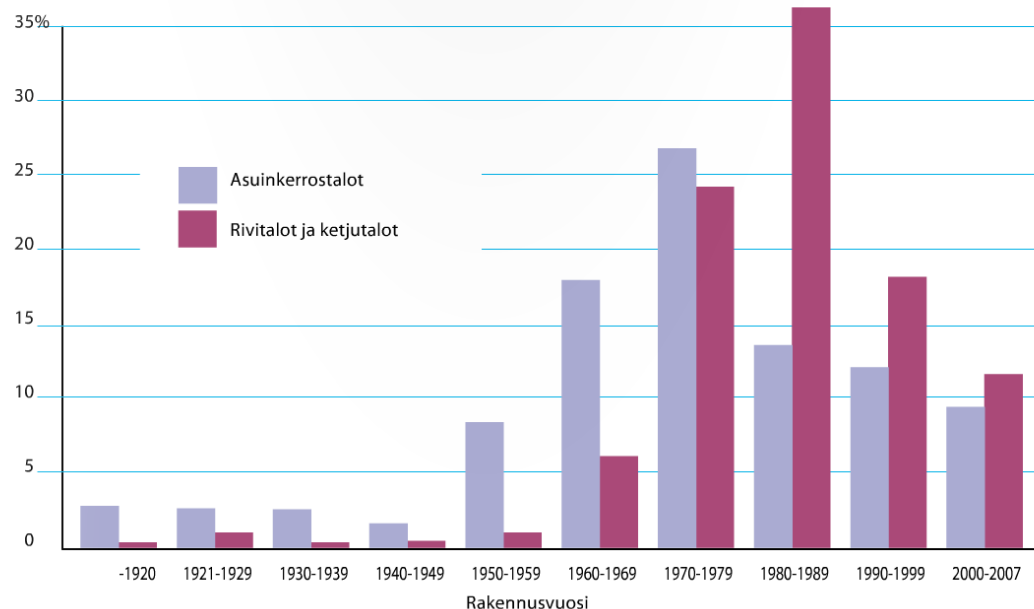
LVI-järjestelmien kuluttaman sähkön lisäksi kiinteistösähkön kulutus on melko pientä. Kiinteistön ulkovalaistus on vähäistä. Ulkona valaisimia on yksi pylväsvalaisin ja lisäksi jokaisen huoneiston ovella on numerolla varustettu valaisin. Ulkovalaistuksen kuluttama sähköenergia on vähäistä, eikä sen energiatehokkuuden parantamista varsinaisesti tutkita tässä opinnäytetyössä. Jokaiselle huoneistolle on varattu myös yksi lämmitystolppainen autopaikka. Lämmitystolpassa on kiinteä ajastin kahden tunnin lämmitysajalla. Lämmitystolppien energiatehokkuutta ei myöskään käsitellä tässä opinnäytetyössä.

## **4 ENERGIATEHOKKUUDEN PARANTAMISEN KEINOT**

Energiatehokkuuden parantamiselle voi olla useita eri perusteita. Energiakorjausta voidaan perustella taloudellisilla elinkaariperusteilla, sisäolosuhteiden parantamisella, hyvillä investointituilla energiakorjaukseen tai energiahintojen nousulla. Ympäristötietoisuuden parantumisen myötä energiatehokkuuden ehostaminen on yleistä myös ekologisten ja eettisten näkökohtien takia. Energiakorjausprosessissa olemassa ole-

vaan kohteeseen tehtävät tarkastelut ovat aina yksilöllisiä ja näillä tarkasteluilla pyritään valitsemaan mahdollisista vaihtoehtoista kohteeseen sopivimmat ja tavoitteita parhaiten kohtaavat ratkaisut. Parhaaseen ratkaisuun pyritään pääsemään mm. vaihtoehtojen vertailun ja elinkaaritalouden laskelmien perusteella. /12, s.64-65./

Usein rakennuksen ikä on syy energiatehokkuuden parantamisen tarpeeseen. Vanhemman rakennuksen teknistenjärjestelmien elinkaarien päättyessä niitä on korjattava tai muutettava. Peruskorjauksen yhteydessä tehdäänkin parempaan energiatehokkuuteen tähtääviä ratkaisuja. Kuvassa 6 nähdään asuinkerros- ja rivitalojen ikäjakaumaa, ja siitä voidaan todeta, että tarpeenmukaisen korjaamisen ajankohta on suurella osalla rakennuksista pian käsillä. /13./



**KUVA 6. Asuinkerros- ja rivitalojen ikäjakauma /13/**

Energiatehokkuuden parantaminen voi keskittyä tiettyyn osa-alueeseen tai se voi olla kokonaisvaltaisempaa. Energiatehokkuuden parantamisen mahdollisuuksia on todella paljon, ja ne voivat liittyä rakennuksen seinien ulko- tai sisäpuolella tapahtuviin muutoksiin. Seuraavissa osioissa käsitellään eriteltyinä näitä parannusmahdollisuuksia tarkemmin.



## 4.1 Rakenteellinen parantaminen

Kiinteistön rakenteellinen parantaminen on yksi tärkeimmistä keinoista tehostaa energiatehokkuutta. Johtumishäviöt vaipan rakenteiden läpi muodostavat yhdessä suurimman osan lämmitysenergian tarpeesta 1970 - 1990 -lukujen rivitaloissa /6/. Rakenteellista parantamista on esimerkiksi rakenteen johtumislämpöhäviöiden vähentäminen lisäämällä eristystä tai vaihtamalla vanha eriste uuteen ja paremman eristystason omaavaan eristeeseen. Eristyksen parantaminen vaikuttaa muun muassa rakennusosan lämmönläpäisykertoimeen eli U-arvoon, jonka vaikutus rakennusosan johtumishäviöön voidaan todeta kaavasta 3 /8/. On huomioitava myös, että vanhojen talojen vaipan tiiveys ei ole yleensä kovin hyvä ja rakenteita parantamalla myös rakennuksen tiiviys paranee. Tiiviyn parantaminen tarkoittaa suoraan myös pienempiä lämpöhäviöitä.

$$Q_{rakosa} = \frac{\sum U_i A_i (T_s - T_u) \Delta t}{1000} \quad (3)$$

jossa

$Q_{rakosa}$	johtumislämpöhäviö rakennusosan läpi, kWh
$U_i$	rakennusosan i lämmönläpäisykerroin, W/(m <sup>2</sup> K)
$A_i$	rakennusosan i pinta-ala, m <sup>2</sup>
$T_s$	sisäilmanlämpötila, °C
$T_u$	ulkoilmanlämpötila, °C
$\Delta t$	ajanjakson pituus, h
1000	kerroin, jolla suoritetaan laatumuutos kilowattitunneiksi

Korvaamalla lämmitystarveluvulla ja kertoimella 24 kaavasta lämpötilat ja ajanjakson pituuden voidaan tarkastella ja arvioida rakennusosan vuotuista lämpöhäviötä.

### 4.1.1 Yläpohja ja alapohja

Yläpohjan lisäeristäminen on usein helppo ja taloudellinen rakenteellisen parantamisen keino. Lämmin ilma nousee ylöspäin, joten on tärkeää estää lämmön karkaaminen yläpohjan kautta. Parannettaessa yläpohjan eristystä voidaan lisätä eristystä ylä- tai alapuolelle tai vaihtaa tarvittaessa vanha eristys kokonaan uuteen. /14./

Vanhan eristeen yläpuolelle asennettavan eristyskerroksen tulee olla harvempi kuin vanhan eristekerroksen, jotta vältytään kosteusongelmilta. Alapuolinen lisäeristäminen on harvinaisempaa ja tulee kysymykseen, kun eristystä ei voi lisätä tilanpuutteen vuoksi vanhan eristeen yläpuolelle. Alkuperäisen eristeen lämpötila laskee eristettäessä alapuolelta, mikä tarkoittaa kosteusvaurion riskin lisääntymistä yläpohjassa. Eristeen kokonaan uusiminen on vaihtoehtona, kun vanhan eristeen ylä- tai alapuolelle ei mahdu eristettä. Yläpohjaan tehtävän perusteellisen remontin yhteydessä eristysten vaihto on hyvä vaihtoehto. /14./

Yläpohjan lisäeristämisen investointikustannus yläpohjaneliötä kohti on noin 5 - 9 euroa lisäeristyskerroksen paksuuden ollessa 200 – 300 mm. Tällä 200 – 300 mm lisäeristämällä saatu hyöty energiankulutukseen 1980-luvun rivitalossa vaihtelee tyypillisesti välillä 7 – 9 %. Yläpohjien U-arvojen kehitys ja tyypillisesti tarvittavan lisälämmöneristyskerroksen paksuus on esitetty taulukossa 2. Lisättävän eristeen U-arvo on  $0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ . /14; 13./

**TAULUKKO 2. Lisäeristyskerroksen paksuudet tavoitearvoon pääsemiseen /13/**

<b>Vuosi, jolloin talon yläpohja on eristetty</b>	<b>U-arvo [<math>\text{W/m}^2\text{K}</math>]</b>	<b>Lisälämmöneristyskerroksen paksuus tavoitearvoon <math>0,09 \text{ W/m}^2\text{K}</math></b>
1962	0,41	300
1974	0,35	300
1985	0,22	240
2008	0,15	160

Alapohjan lisäeristäminen on usein varsin hankalaa ja kallista. Alapohjaan tehtävät muutokset tulevat usein varteenotettaviksi vaihtoehtoiksi vasta, kun alapohjan rakenne vaatii uusimista tai korjausta jostain muusta syystä. /12, s.202./

#### **4.1.2 Ulkoseinät**

Ulkoseinien lisäeristäminen tehdään yleensä seinän ulkopuolelle. Ulkopuolinen lisäeristäminen on usein melko helppoa seinän korjaamisen yhteydessä. Seinän ulkopuolista eristystä lisätessä ei ole syytä pyrkiä pieneen parannukseen vaan uuden eristys-

kerroksen paksuuden on usein syytä olla reilu, koska materiaalikulut eivät kasva voimakkaasti vaikka eristystä lisättäisiinkin. Seinärakenteen korjaamisen yhteydessä tehtävän lisäeristämisen kustannuksia ja säästölukemia on esitetty taulukossa 3. /12, s.206; 13./ Sisäpuolinen eristäminen aiheuttaa usein eriasteisia kylmäsiltoja väliseiniin kohtiin ja höyrynsulun onnistuminen on vaikeaa järjestää. Tästä syystä seinärakenteen sisälle voi helposti tiivistyä kosteutta, joka aiheuttaa varmasti ongelmia jatkossa. /12, s.236./

**TAULUKKO 3. 1980-luvun rivitalon ulkoseinärakenteen lisälämmöneristysten investointikustannukset ja vaikutus energian kulutukseen /13/**

<b>Vanha ulkoseinä U-arvo (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>Uusi ulkoseinä U-arvo (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>Investointikustannus (€/julkisivuneliö)</b>	<b>Energiansäästö (prosenttia)</b>
0,29	0,29 (+0 mm)	100 - 140	0
0,29	0,23 (+50 mm)	150 - 170	3
0,29	0,19 (+100 mm)	160 - 180	5
0,29	0,14 (+200 mm)	170 - 190	7

#### **4.1.3 Ikkunat ja ovet**

Rakennuksen vaipan osista huonommin lämpöä eristävä rakenneosat ovat ikkunat. Toisaalta ikkunat eivät vain hukkaa lämpöä, vaan niiden läpi saadaan rakennukseen lämpöä ja valoa auringosta, mikä pienentää valaistukseen ja lämmitykseen tarvittavaa energiaa. Näistä syistä johtuen ikkunoiden energiatehokkuuteen ja kuntoon on syytä kiinnittää huomiota. Näin ollen ikkunat vaihdetaan yleensä joka tapauksessa noin 30 – 40 vuoden välein, jolloin vaihtaminen on energiatehokkuuden kannalta hyvinkin kannattavaa. /7; 12, s.207/

Vanhojen uusittavien ikkunoiden U-arvot ovat yleensä luokkaa 1,7 – 2,8 W/m<sup>2</sup>K. Nämä arvot ovat melko huonoja verraten uusiin ikkunoihin. Uusien ikkunoiden U-arvot ovat yleensä noin 0,8 - 1 W/m<sup>2</sup>K, joten ikkunoiden aiheuttamaa lämpöhäviötä voidaan pienentää 50 – 70 %. Ikkunoiden lämpöhäviön ollessa 14 – 17 % koko rakennuksen lämpöhäviöistä, ikkunoiden parantaminen vaikuttaa lämmitysenergian pienemiseen noin 7 – 12 % riippuen lähtötilanteesta ja valituista uusista ikkunoista. Taulukossa 4 on esitetty energiansäästön lisäksi arvio rivitalon ikkunoiden vaihtamisen investointikustannuksista. Ikkunan energiatehokkuudesta U-arvo ei kuitenkaan kerro

kaikkea. Auringon läpäisystä kertoo auringonsäteilyn kokonaissäteilykerroin g-arvo, joka kuvaa sitä, kuinka paljon ikkunaan osuvasta auringon säteilystä tulee huonetilaan. Lisää säästöjä saadaan myös tiiviyn parantumisen myötä, koska uudet ikkunaraken-  
teet ovat tiiviimpiä ja ikkunoiden asennuksessa käytettävät tiivistystekniikat ovat ke-  
hittyneet. /6; 12, s.206; 13./

**TAULUKKO 4. 1980-luvun rivitalon ikkunoiden vaihtamisen investointikustan-  
nukset ja vaikutus energiankulutukseen /13/**

<b>Vanha ikkuna U-arvo (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>Uusi ikkuna U-arvo (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>Investointikustannus (€/ikkunaneliö)</b>	<b>Energiansäästö (prosenttia)</b>
2,10	1,00	350 - 450	8
2,10	0,70	450 - 550	10

Ikkunoiden uusimisesta puhuttaessa ei voida ohittaa vanhojen ovien korvaamista uu-  
silla ja paremmilla. Ovien vaihtamisella saadut hyödyt ovat hyvin pitkälti samantyypp-  
iset kuin ikkunoilla. Erona ikkunoihin voitaneen todeta, että vanhojen ovien uusimi-  
sella saatavat hyödyt jäävät ikkunoiden uusimisesta saatavia hyötyjä pienemmiksi  
ikkunapintoja pienemmän ovien kokonaispinta-alan sekä usein jo ennestään parempi-  
en U-arvojen takia. Toisaalta myös kustannukset ovat pienemmät.

#### **4.1.4 Tiivisteet ja tiiviys**

Rakennuksen tiiviys on yksi tärkeä seikka puhuttaessa energiatehokkuudesta. Van-  
hoissa rakennuksissa esiintyy tyypillisesti puutteita tiiviydessä ympäri rakennusta.  
Ulkoseinien liitoskohdissa alapohjaan, välipohjaan ja ulkoseinien nurkkaliittymissä on  
usein vuotokohtia. Vuotoja aiheutuu myös yläpohjan liitoskohdissa ja läpimenoissa.  
/14./ Myöskään ikkunoiden ja ovien tiivisteet eivät ole ikuisia, vaan ne menettävät  
joustavuuttaan ja täten eivät toimi enää oikein. Hyvät tiivisteet estävät lämmön kar-  
kaamisen lisäksi myös huonekosteuden, sadeveden ja lumen pääsyn ikkunan puittei-  
den väliin. /7./ Tiiviydellä on suuri merkitys koko rakennuksen lämmitysenergian ku-  
lutuksen kannalta, mutta poistoilman tilalle tarvitaan huoneistoon korvausilmaa ulkoa,  
joten tiiviyttä pitää parantaa sieltä mistä vuotoja ei haluta tapahtuvan. Näin korvausil-  
ma tulee huoneistoon hallitusti venttiilien kautta.

## 4.2 Lämmitysjärjestelmän parantaminen

Lämmitysjärjestelmää parantamalla ei varsinaisesti vähennetä rakennuksen lämmöntarvetta vaan vähennetään ostoenergian määrää parantamalla lämmitysjärjestelmän toimintaa, kehittämällä sen hyötysuhdetta ja vähentämällä järjestelmähäviöitä. Seuraavissa kappaleissa on esitelty lämmitysjärjestelmää ja sen osia koskevia energiatehokkuuden parannusmahdollisuuksia.

### 4.2.1 Säätolaitteet ja pumput

Oikealla lämmitysjärjestelmän säätolaitteiden toiminnalla varmistetaan hyvä ja viihtyisä sisäilmasto sekä alhainen energiankulutus. Lämmitysverkoston patterien menoveden lämpötilaa säädetään ulkoilman lämpötilan mukaan. Menoveden lämpötila asetuu oikeaksi lämmitysjärjestelmän säätökeskuksen säätökäyrän mukaan. Säätekäyrän asentoa voidaan muuttaa, jotta se vastaisi rakennuksen lämmöntarvetta eri ulkolämpötiloissa. Säätekäyrän oikea asento on energiankulutuksen kannalta oleellinen asia, koska yllälämpötilat tietävät aina energian hukkaa. Kunkin rakennuksen optimaalinen säätökäyrän asento on etsittävä kokeilemalla, ja se on säännöllisin väliajoin tarkistettava. Fyysinen säätö tapahtuu säätöventtiilin avulla. Venttiili sijaitsee järjestelmän ensiöpuolella, ja se ohjaa kaukolämpöveden virtauksen määrää lämmönsiirtimen läpi. /7; 15./

Tasaisia rakennuksen sisäisiä lämpötiloja tavoiteltaessa lämmitysverkoston on oltava tasapainossa. Tasapainotetussa verkostossa jokaisessa lämmityspatterissa kiertää oikea määrä vettä. Verkoston tasapainotilaan päästään hyödyntämällä linjasäätö- ja patteriventtiilejä ja niiden esisäätöarvoja. Venttiilien keskimääräinen käyttöikä vaihtelee välillä 20 – 25 vuotta. Tämän jälkeen venttiilien toimintaan tulee häiriöitä, mikä tarkoittaa usein energian hukkaa ja epätasapainoa verkostossa. Rakennuksen lämmitysverkoston ollessa epätasapainoissa eli perussäätämätön, rakennusta lämmitetään kylmimmän huoneiston mukaan. Samalla osassa huoneistoja lämpötilat nousevat, mistä seuraa turhaa energian kulutusta. Perussäädöstä lisää seuraavassa osiossa 4.2.2 Perussäätö. /4, s.13; 15./

Edellä mainittujen seikkojen ollessa kunnossa lämmityksen hienosäätö onnistuu patteriventtiileillä. Patteriventtiilit ovat usein termostaattisia, jos näin ei huoneistossa ole

patteriventtiilien vaihto voi olla aiheellinen. Termostaattisen patteriventtiilin tarkoitus on sulkea venttiili, kun niin sanottua ylimääräistä lämpöenergiaa tulee huoneeseen esimerkiksi auringosta ikkunoiden kautta. Tällä tavoin voidaan hyödyntää ilmainen energia ja säästää energiakustannuksissa. Termostaattisten patteriventtiilien asennuksella lämmitysenergian kulutus pienenee keskimäärin 3,2 %, jolloin takaisinmaksuaika jää hieman yli 3 vuoteen. Termostaattisen patteriventtiilin toiminta on tarkempaa irtotunturin avulla, jolla arvion mukaan on mahdollista saada ilmaislämmöstä käyttöön 60 – 70 %. /4, s.13; 7./

Järjestelmän energian kulutukseen vaikuttavat myös pumput. Oikean pumpun valintaan onkin syytä kiinnittää huomiota, jotta pumpuille saadaan hyvät todelliset toiminta-arvot eikä virtaamaa tarvitse säätää kuristamalla. Kuristamalla säätäminen kasvattaa pumppauksen häviöitä ja siten se ei ole energiatehokasta.

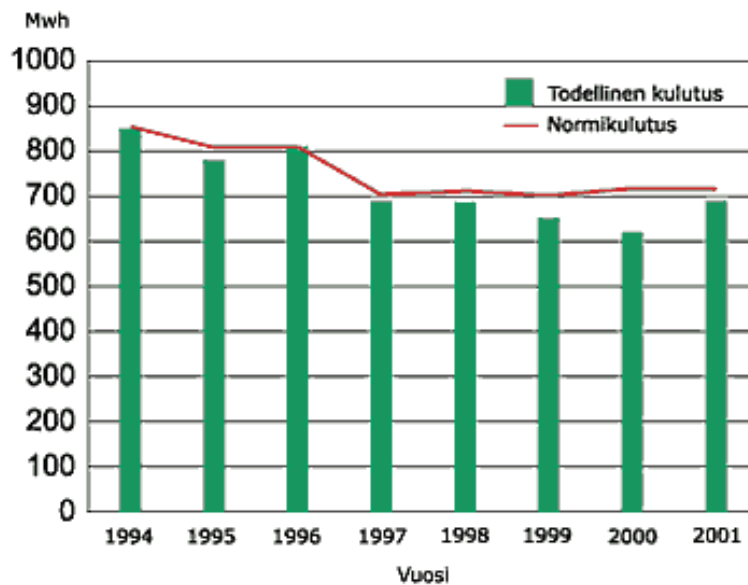
#### **4.2.2 Perussäätö**

Lämmitysverkoston perussäädöllä tarkoitetaan järjestelmän säätämistä toimimaan suunnitellulla tavalla. Perussäädön avulla varmistetaan kaikkien huonetilojen huonelämpötilat suunnitelmien mukaiselle tasolle. Tämä on tärkeää, koska yli- tai alilämpötilojen tasaantuessa oikealle tasolle asumismukavuus paranee ja energiaa säästyy. Arvioiden mukaan 75 % Suomen asuinrakennuskannasta on perussäädetty puutteellisesti. Kiinteistöjen, joissa perussäätö on puutteellisesti suoritettu, keskimääräisten lämpötilaerojen arvioidaan olevan yli 3 °C, mutta myös yli 6 °C lämpötilaeroja esiintyy. Ylilämpötilojen poistuminen vähentää muun muassa allergiaoireita sekä kuivan ilman ja pölyn aiheuttamia oireita. Alilämpötilojen häviäminen aiheuttaa kosteuden aiheuttamia bakteeri- ja homeongelmia. Asumisviihtyvyyteen vaikuttaa myös mahdollisen patteriverkoston pitämisen äänen väheneminen. Lämmitysjärjestelmän perussäädön tarve tulee selvittää asukaskyselyllä tai muuten tapahtuvalla huonelämpötilojen tarkastelulla. Välttämättömäksi perussäädön tarve tulee, kun lämmöntarve kiinteistössä muuttuu esimerkiksi rakenteiden lisäeristämisen jälkeen lämpöhäviöt pienenevät ja se on huomioitava lämmitysjärjestelmässä, jotta tehdyistä korjauksista saadaan hyöty irti. /4, s.15; 7./

Energiansäästöistä tulevat hyödyt konkretisoituvat asukkaille saatavina kustannussäästöinä. Säästöt ovat usein huomattavia, sillä lämmitysenergian kulutus pienenee 10 –

15 %. Samalla lämmityskulujen tasapuolinen jakautuminen toteutuu, eikä osa asukkaista joudu maksamaan huonosta viihtyvyydestä. /7./

Lämmitysjärjestelmän perussäätö tehtiin asunto-osakeyhtiö Lehdespolku 5:ssä vuonna 1996. Yhtiöön kuuluu yhdeksän rivi- ja luhtitaloa ja niissä on yhteensä 52 asuntoa. Lämmönkulutus putosi 800 MWh:sta hieman yli 700 MWh:iin eli noin 14 % perussäädön vaikutuksesta. Asunto-osakeyhtiö Lehdespolku 5:n lämmönkulutus ja perussäädön vaikutus näkyy kuvassa 7. /16./



**KUVA 7. As Oy Lehdespolku 5:n lämmönkulutus /16/**

#### 4.2.3 Lämmitysjärjestelmän eristykset

Lämpöjohdot muodostavat lämmitysverkoston, joka siirtää lämpöä rakennuksen eri osiin säätöjärjestelmän ohjaamana. Lämpöjohtojen eristyksellä pidetään verkostossa virtaavan veden lämpötila haluttuna ja riittävä lämpöenergia kohdehuoneeseen. Lämmitysjärjestelmän keskuksen eli lämmönjakohuoneen eristykset ovat tärkeässä roolissa koko järjestelmän energiatehokkuuden osalta. Lämmönjakokeskuksen osat ovat korkealämpöisiä ja siten paljon lämpöä luovuttavia, joten niiden eristäminen säästää tehokkaasti energiaa ja pienentää lämmityskustannuksia. Lämpö pysyy järjestelmässä eristyksen avulla paremmin, eikä karkaa esimerkiksi lämmönsiirtimien pinnoilta huoneilmaan ja huoneilmasta hyödyntämättä ulkoilmaan. /17./

#### 4.2.4 Järjestelmän muutos

Kaukolämmityksen nykyaikaisista vaihtoehtoista puhuttaessa esiin nousee usein maalämpö. Maalämmöllä tarkoitetaan maaperään, kallioon tai veteen sitoutuneen lämmön hyödyntämistä rakennuksen lämmityksessä. Lämpöä kerätään maasta maapiirin avulla ja kerätty lämpö hyödynnetään sähköä vaativassa lämpöpumppuprosessissa. Maalämpöpumpulla saatavasta lämmöstä noin 2/3 on peräisin maasta ja noin 1/3 on tuotettu sähköllä. /18./

Maalämpöpumppujen suosio perustuu pieniin käyttökustannuksiin, vaivattomuuteen ja helppokäyttöisyyteen. Järjestelmän hankintakustannukset ovat melko varsin suuret, mutta matalien käyttökustannusten avulla järjestelmän takaisinmaksuajat pidetään kohtuullisina ja investointi kannattavana. Maalämpöjärjestelmän rakentaminen 4-huoneistoiseen rivitaloon maksaa noin 25 000 – 30 000 euroa. Investoinnin kannattavuuteen vaikuttavia asioita on kuitenkin paljon, ja ne ovat tapauskohtaisia. /18./

#### 4.3 Ilmanvaihdon parantaminen

Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantaminen on todella tärkeä vaihtoehto koneellisella poistoilmanvaihdolla varustetuille kiinteistöille, jossa lämpimästä huoneilmasta ei oteta lämpöä talteen millään tavalla. Koneellisen poistoilmanvaihdon energiatehokkuutta parantaessa joudutaan usein tekemään suuria investointeja, jotka koskevat myös muita osa-alueita kuin ilmanvaihtoa. Toisaalta muut rakennustekniset muutokset on huomioitava ilmanvaihdossa, vaikka ilmanvaihdon energiatehokkuuteen ei puututtaisikaan. Ilmanvaihdon energiatehokkuuden parantamisella saatavat hyödyt eivät usein rajoitu vain energia-asioihin ja taloudellisuuteen, vaan uusi ratkaisu lisää lähes poikkeuksetta asumisviihtyvyyttä. /14./

##### 4.3.1 Lämmöntalteenotto

Suomessa ulkoilma on lähes ympäri vuoden sisäilmaa kylmempää, joten on turhaa kuluttaa energiaa tuloilman lämmittämiseen, kun samalla puhalletaan lämmintä ilmaa sisältä ulos. Lämmöntalteenottojärjestelmä eli LTO-järjestelmä on merkittävin asia energian säästämisen kannalta ilmanvaihtojärjestelmissä. Lämmöntalteenoton avulla poistoilman lämpö siirretään tuloilmaan. Näin saadaan kylmää ulkoilmaa lämmitettyä



niin sanotusti jo kerran tuotetun lämpöenergian avulla, eikä uutta energiaa tarvita. LTO-järjestelmä tarvitsee yleensä toimiakseen koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon kanavistoineen ja kaikkine laitteineen, jolloin esimerkiksi ilmanvaihtojärjestelmän sähkön kulutus voi lisääntyä. Sähkön kulutuksen kasvu on kuitenkin usein vähäistä verraten saatuihin säästöihin.

Lämmöntalteenotto tapahtuu regeneratiivisesti tai rekuperatiivisesti. Regeneratiivisella tarkoitetaan yleensä pyörivän kiekon avulla tapahtuvaa lämmöntalteenottoa ja rekuperatiivista talteenottoa hyödynnetään ristivirtalevy-lämmönsiirtimissä, vastavirtalevy-lämmönsiirtimissä tai nestekiertoisissa lämmönsiirtimissä. Tyypillisin LTO-laite on tyypiltään levy-lämmönsiirrin, jolla hyötysuhteeksi saadaan noin 50 – 70 %. Nestekiertoisella järjestelmällä saavutetaan hieman levy-lämmönsiirrintä alhaisempi hyötysuhde, joka on noin 45 – 60 %. Parhaan hyötysuhteen yleensä saa pyörivällä kiekkolämmönsiirtimellä, jonka hyötysuhde on jopa 80 %. Kiekkolämmönsiirrintä ei suositella keskitettyihin järjestelmiin tai järjestelmiin, joissa liesikupu on yhdistetty ilmanvaihtokoneeseen. /4, s.22; 19./

LTO-järjestelmän tehokkuutta kuvaa suure vuosihyötysuhde  $\eta_a$ . Vuosihyötysuhde kertoo kaavan 4 mukaan laitteistolla vuodessa talteenotettavan ja hyödynnettävän energian suhteen ilmanvaihdon lämmityksen tarvitsemaan energiaan ilman LTO-laitetta. Tätä suhdetta esitellään kuvassa 8. Kuvan punainen alue A kuvaa ilmanvaihdon tarvitsemaa lämmitysenergiaa kun lämmöntalteenottoa ei ole. Tämä energiamäärä voidaan esittää kaavan 5 avulla. /19./

$$\eta_a = \frac{Q_{LTO}}{Q_{iv}} \quad (4)$$

jossa

$\eta_a$	lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
$Q_{LTO}$	lämmöntalteenotolla talteenotettu lämpöenergia
$Q_{iv}$	ilmanvaihdon poistoilmavirtojen mukana poiskulkeutuva lämpöenergia

$$Q_{iv} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{S,i} \quad (5)$$

jossa

$c_p$  ilman ominaislämpökapasiteetti, J/kgK

$\rho$  ilman tiheys, kg/m<sup>3</sup>

$q_{p,i}$  lämmöntalteenoton piiriin kuuluva poistoilmavirta (i), m<sup>3</sup>/s

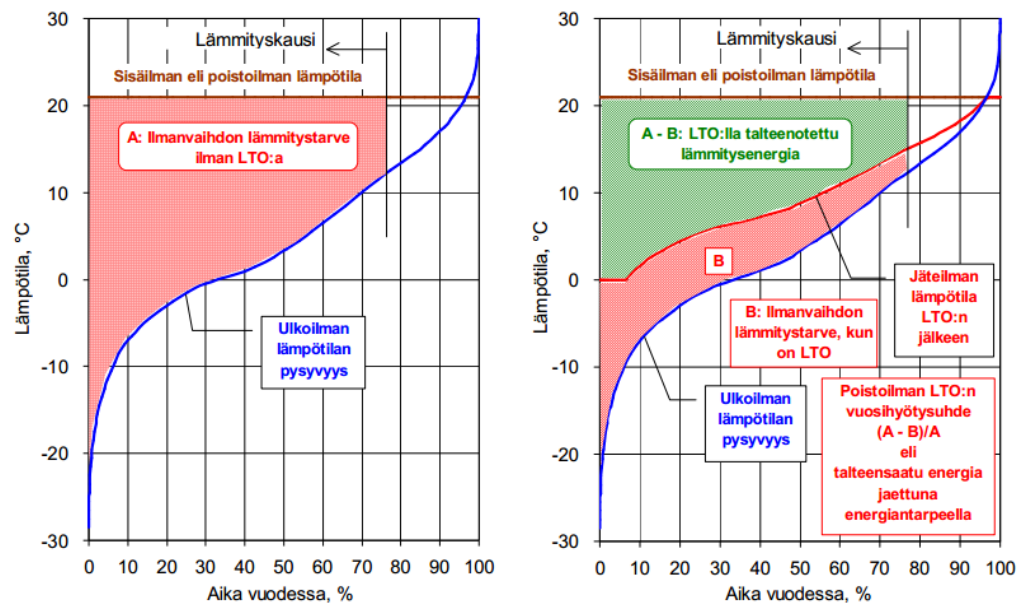
$S_{S,i}$  sisäilman ja ulkoilman lämpötilojen välinen lämmöntarveluku, Kd

Poistoilmasta talteenotettua energiaa esittää kuvan 8 vihreä alue A-B. Lämmöntarveluvulla esitettynä talteenotettu energia esitetään kaavan 6 mukaisesti.

$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{p,i} S_{S,j} \quad (6)$$

jossa

$S_{S,j}$  sisäilman ja jäteilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd



**KUVA 8. Poistoilman tarvitsema lämmitysenergia ja LTO:n avulla talteenotettu energia /19/**

Lämmöntalteenotolla talteenotetun lämpöenergian laskenta voidaan yksittäiselle ilmanvaihtokoneelle tehdä myös tuloilmapuolelle. Tämä tapa on yleisemmin käytössä oleva kuin poistoilmapuolelle tehty laskenta. Laskenta tapahtuu kaavan 7 mukaisesti.

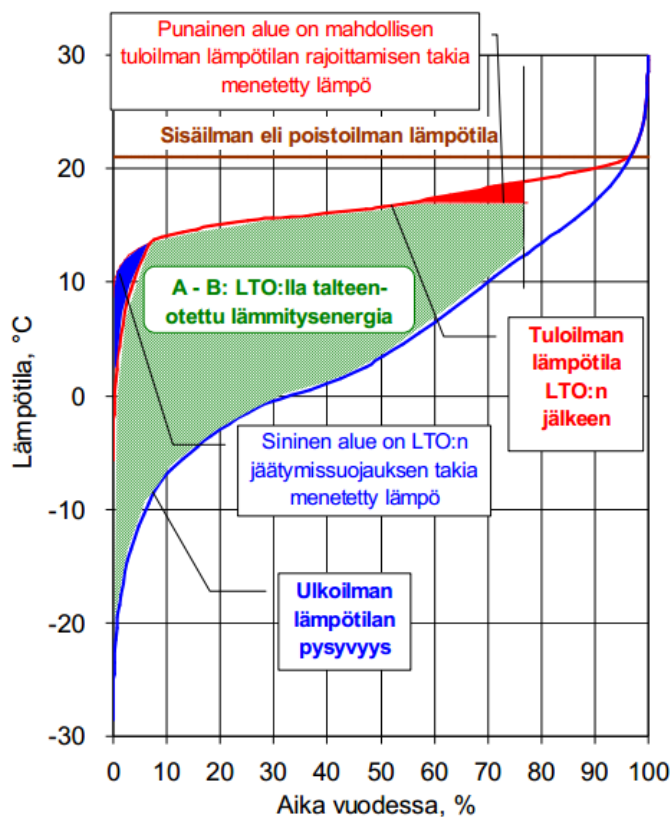
$$Q_{LTO} = c_p \rho \sum_i q_{tLTO,i} S_{T,i} \quad (7)$$

jossa

$q_{tLTO,i}$  lämmöntalteenoton läpi kulkeva tuloilmavirta (i), m<sup>3</sup>/s

$S_{T,i}$  LTO:n jälkeisen tuloilman ja ulkoilman lämpötilan välinen lämmöntarveluku, Kd

Kaavalla 7 laskettua lämmöntalteenotolla talteenotettua energiaa kuvaa vihreä alue A-B kuvassa 9. Kuvassa talteenotetun energian osuutta pienentää LTO:n jäätymisen esto (sininen alue) sekä tuloilman lämpötilan rajoittaminen (punainen alue).



**KUVA 9.** Poistoilmasta tuloilmaan talteenotettua vuotuista lämpöenergiaa kuvaava kaaviokuva /19/

#### 4.3.2 Ilmanvaihdon säätö ja puhaltimet

Ilmanvaihdon ilmavirtojen säätäminen oikeiksi on tärkeää ilmanvaihdon oikean toimivuuden ja asumismukavuuden kannalta. Koneellisessa poistoilmavaihdossa poistoilmaventtiilit on sijoitettu suurimmaksi osaksi kosteisiin tiloihin, vaatehuoneisiin ja keittiöihin. Poistoilmaventtiilien sijoituksella on pyritty minimoimaan epäpuhtauksien

ja kosteuden leviämistä huoneiston muihin osiin. Poistoilmavirtojen ollessa liian pieniä tavoitetilanne ei toteudu eikä ilma ei huoneistossa vaihdu tarpeeksi. Toisaalta liian suuret ilmavirrat kuluttavat energiaa turhaan. Liian suuret poistoilmavirrat aiheuttavat huoneistoon myös alipainetilan, jolloin korvausilma tulee huoneistoon hallitsemattomasti vaipan vuotokohdista. Säättämällä ilmavirrat halutuiksi ei siis aina saada energian säästöä, vaan optimitilanne rakennuksen ja asukkaan kannalta.

Koneellisessa poistoilmanvaihdossa käytetyt puhaltimet uusitaan keskimäärin 10 – 30 vuoden välein. /13/. Tässä ajassa puhaltimien energiatehokkuus ja tekniikka on mennyt usein huomattavasti eteenpäin. Ilmanvaihdossa käytetyissä puhaltimissa moottorin käyttämää sähköenergiaa pyritään minimoimaan. Puhallin toimii yleensä perinteisellä AC-vaihtovirtamoottorilla, mutta nykyään yleistyvät EC-moottorit, jotka ovat elektronisesti ohjattuja tasavirtamoottoreita ja perinteisiä moottoreita energiatehokkaampia. EC-moottorien energiatehokkuus perustuu vaihtovirtamoottoria pienempiin häviöihin.

#### 4.3.3 Käyntiajat

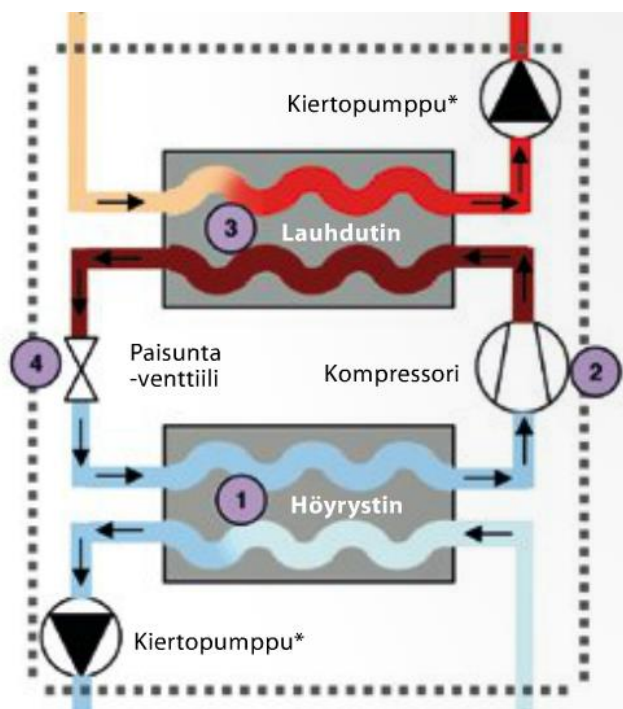
Ilmanvaihdon käyntiajoilla voidaan vaikuttaa energiatehokkuuteen, kun muistetaan aina tarpeellinen kiinteistön perusilmanvaihto. Energian kulutuksen pienentäminen koneellisessa ilmanvaihtojärjestelmässä onnistuu tarpeenmukaisella käytöllä. Usein ilmanvaihtokoneissa on neljä eri käyttöasentoa. Näiden asentojen suositeltavat käyttötavat on esitetty taulukossa 5. /7./

**TAULUKKO 5. Ilmanvaihdon käyttöasennot /7/**

Asento 1	Asento 2	Asento 3	Asento 4
poissaoloasento	asunnossa oleskelee yksi tai kaksi henkilöä, pakkaskelillä riittä- vä useammallekin	normaaliasento, tyypillisesti mitoitusilmamäärät, normaali ruuanlaitto, ym.	ilmanvaihdon tehostusasento, kärynpoisto, saunominen

#### 4.3.4 Poistoilmalämpöpumppu

Poistoilmalämpöpumpulla (PILP) koneellisesti poistettavan ilmanvaihtoilman lämpöä hyödynnetään lämpöpumppuprosessissa, joka on esitetty kuvassa 10. Lämpöpumppuprosessissa poistoilmasta saatu lämpö höyrystää lämpöpumpun höyrystimessä (1) kiertävän kylmäaineen, joka sitoo lämpöä itseensä. Lämpöpumpun kompressor (2) puristaa höyrystyneen kylmäaineen korkeampaan paineeseen, samalla kylmäainehöyryn lämpötila nousee. Kuuma kylmäainehöyry etenee prosessissa lauhduttimeen (3), jossa kylmäainehöyry lauhtuu luovuttaen lämpöä. Jäähdytynyt kylmäaine kulkeutuu vielä paisuntaventtiilin (4) läpi ennen kuin aloittaa uuden kierroksen höyrystimestä. /20./



**KUVA 10. Lämpöpumppuprosessi /13/**

Lauhtumisessa vapautuvaa lämpöä voidaan hyödyntää ja siirtää tiloihin puhallettavaan tuloilmaan tai lämpimään käyttöveteen ja lämmitysjärjestelmän käyttöön. Järjestelmän toiminnan ennakointi on helppoa ja toiminta varmaa lähes vakiona pysyvän poistoilman lämpötilan ansiosta. Poistoilmavirran tulee olla jatkuvaa ja suuruusluokaltaan rakennuksen ilmatilavuus kahdessa tunnissa. Poistoilmalämpöpumpulla voidaan säästää lämmön oikealla hyödyntämisellä noin 40 prosenttia lämmitysenergiasta. /20./

#### 4.4 Käyttövesijärjestelmän parantaminen

Veden kulutuksen vähentämisen avainasemassa ovat ennen kaikkea kuluttajien käyttötottumukset sekä vesikalusteet. Karkean arvion mukaan vedenkulutuksen pienentäminen 20 %:lla tarkoittaa 10 %:n vähennystä käyttöveden energian kulutukseen, mikä tarkoittaa 5 % kokonaislämmitysenergiasta. Henkilökohtaisen vedenkulutuksen huomioonlaskemisen lisäksi nykyään on myös muita keinoja vähentää käyttövesijärjestelmän energian kulutusta vähentämättä käyttömukavuutta ja toimivuutta. Seuraavat kappaleet käsittelevät näitä keinoja. /4, s.33-37; 7./

##### 4.4.1 Virtaamatarkastelu

Käyttövesijärjestelmän toteutuneilla painetasoilla on suuri merkitys kiinteistön veden virtaamiin ja kulutukseen. Käytettävissä oleva paine on usein liian korkealla tasolla. Kiinteistössä, jossa käyttöveden paine on 60 % korkeampi verrattavaan kohteeseen, kulutetaan 30 % enemmän vettä. Käytettävissä olevan paineen voi korjata oikealle tasolle vakioapaineventtiilillä, jolla vähennetään jakeluverkoston ylimääräinen paine. Esimerkiksi, kun painetasoa pudotetaan tyypillisestä noin 500 - 600 kPa:sta 200 kPa, kulutus pienenee 10 – 15 %. Painetason korjaamisesta oikeaksi saadaan myös muita hyötyjä, kuten virtauksesta johtuvien ääniongelmien väheneminen. Putkistosta irtoavan kiintoaineksen määrä vedessä vähenee myös pienempien paineiskujen takia. /4, s.39./

Usein myös vanhat vesikalusteet kuluttavat enemmän kuin uudet. Uusiin vesikalusteisiin kannattaa investoida etenkin putkiremontin yhteydessä. Tilanteesta riippuen investointi voi olla kannattava myös muussa tapauksessa. Uusissa yksiotehanoissa on monia mahdollisuuksia pienentää vedenkulutusta, joka on normaalisti 10 – 25 % pienempi kuin vanhoissa kaksiotehanoissa. Joissain sekoittajissa on niin sanottu ekonappi, joka pienentää veden maksimivirtaamaa 40 %, lisäksi sekoittajiin on poresuuttimia, joita käyttämällä veden virtaus tuntuu suurelta pienemmälläkin vesivirralla veteen sekoittuvien ilmakuplien ansiosta. Kuten allassekoittajiin, on suihkusekoittajiinkin vedenkulutusta vähentäviä ratkaisuja. Esimerkiksi suihkupään voi vaihtaa virtausteknisesti oikein muotoiltuun, mikä pienentää 40 % vedenkulutusta lähes huomaamatta vähennystä. /4, s.38/.

WC-istuimen vaihdolla voidaan saavuttaa veden kulutuksen vähenemistä siinä missä muillakin keinoilla, mutta WC-istuimen käyttäessä kylmää vettä lämpöenergiaa ei kuitenkaan säästy. Vanhat WC-istuimet on hyvä vaihtaa 2/4 litran huuhtelulla toimi-viin istuimiin. Vaihtamisesta saatava hyöty 6-litraiseen istuimeen verrattuna veden kulutus vähenee 61 % ja vanhan ollessa 9-litrainen kulutetaan uudella 74 % vähem-män vettä. /4, s.39./

#### **4.4.2 Putkiston eristäminen ja lämpötilat**

Lämminvesiputkistossa tapahtuvat lämpöhäviöt tarkoittavat suoraan energiahukkaa. Lämmönsiirtimessä lämmitetty käyttövesi halutaan siirtää putkistossa käyttöpisteeseen oikean lämpöisenä. Käyttömukavuuden, terveellisuuden ja taloudellisuuden kannalta on tärkeää, että pyritään minimoimaan putkistossa tapahtuvat lämpöhäviöt. Noin 63 % käyttöveden kuluttamasta energiasta kulutetaan vesipisteissä ja viimeinen kolmannes kuluu lämpöhäviöihin, jotka eivät juuri riipu veden kulutuksesta. Ilman putkiston eris-tystä putkiston sisältämä vesi jäähtyy nopeasti, mikä lisää mahdollisia terveysriskejä. /4, s.33-37./

Lämpimän käyttöveden lämpötilalla on myös vaikutusta energian kulutukseen. Mitä korkeampi lämpötila, sitä suuremmat lämpöhäviöt järjestelmästä on ympäristöön. Lämpimän käyttöveden on kuitenkin oltava vähintään 55 °C, tällä minimoidaan bak-terien määrää ja muita terveysriskejä käyttövedessä. Käyttöveden maksimilämpötila on 65 °C. Turhan korkean lämpötilan vaikutukset näkyvät erityisesti lämpimänkäyttö-veden kiertojohtoon häviöissä. /7./

#### **4.4.3 Huoneistokohtainen veden mittaus**

Kiinteistössä kulutettava vesivirta voidaan mitata kiinteistökohtaisesti tai huoneisto-kohtaisesti. Huoneistokohtaisella mittauksella ja laskutuksella tavoitellaan vesikustan-nusten yhdenvertaista jakamista, vedenkulutuksen vähentämistä ja energian säästöä. Mittauksen tapahtuessa huoneistokohtaisesti asukkaat voivat mahdollisesti itse seurata reaaliaikaisesti kulutusta ja käyttötavoillaan suoraan vaikuttaa asumiskustannuksiinsa. Huoneistokohtaiset vesimittarit voidaan asentaa vain kylmään tai lämpimään veteen tai niihin molempiin. Mittaus on aina tarkempaa, kun mittarit ovat molemmissa put-kissa; silloin ei tarvitse arvioida toisen vesivirran osuutta, vaan ne saadaan luettua

suoraan. Huoneistokohtainen veden mittaus edellyttää käytännössä veden johtamista huoneistoon yhdestä pisteestä. Mittarityyppejä ovat esimerkiksi siipipyörä-, turbiini-, magneetti- ja ultraäänimittari. Kaksi ensimmäistä toimivat mekaanisesti, mutta kahdessa jälkimmäisessä ei ole liikkuvia osia. Kehittyneet mittarit voidaan liittää tiedonkeruujärjestelmään. /1./

Huoneistokohtaisesta veden mittauksesta on melko paljon kokemuksia. Positiivisia vaikutuksia on paljon, mutta vesimittareiden huoneistokohtaisesta käytöstä on myös joissain tapauksissa luovuttu. Huonot kokemukset liittyvät mittaus- ja laskutusjärjestelmien korkeiden käyttö- ja huoltokustannuksien suuruuteen ja sitä kautta järjestelmän kannattamattomuuteen. Huoneistokohtaisella mittauksella saadut hyödyt vedenkulutuksen pienenemiseen ovat kohteen teknisistä yksityiskohdista riippuen noin 10 - 30 %. Tämän suuruinen vedenkulutuksen pieneneminen tarkoittaa laskennallisen arvioiden mukaan 3 - 9 % muutosta lämmitysenergiankulutukseen. Suurimpiin vedenkulutuskurssien pienenemiseen vaikuttavat myös muut muutokset käyttövesijärjestelmässä, joten realistinen arvio pelkälle huoneistokohtaisen vesimittauksen vaikutukselle on 10 %:n suuruusluokkaa. Lisäksi huoneistokohtainen vedenmittaus helpottaa mahdollisten vuotojen huomaamista ja paikantamista. /4, s.40; 1./

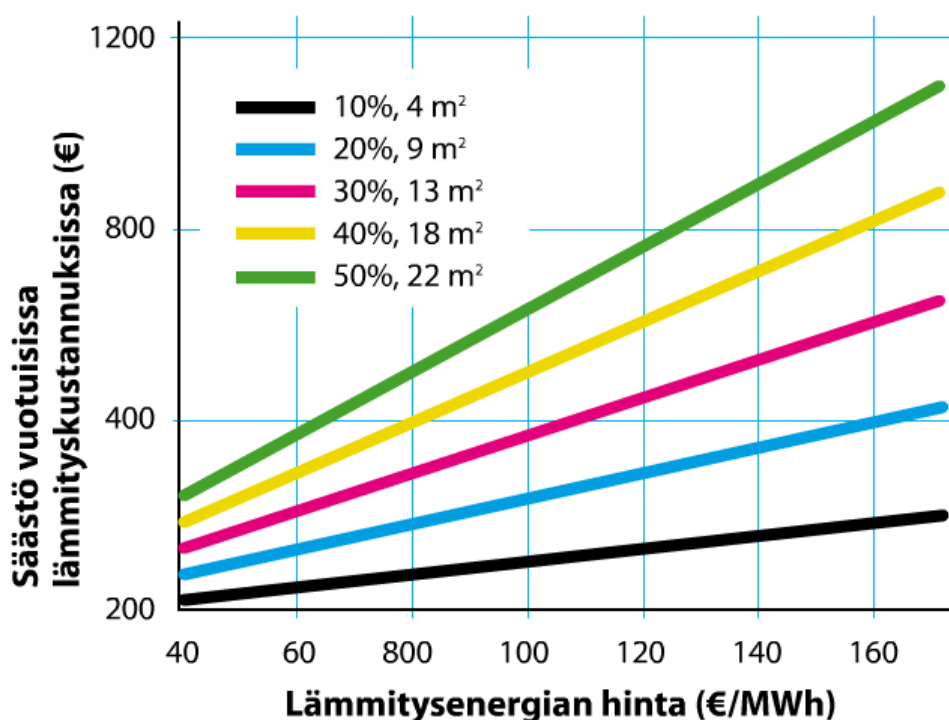
Huoneistokohtaisen vedenmittausjärjestelmän investointikustannukset ovat noin 500 - 700 €/huoneisto. Kuluja järjestelmästä aiheutuu huolloista noin 10 vuoden päästä 100 - 150 €/huoneisto ja vuotuisia laskutuskustannuksia noin 10 - 30 €/huoneisto. /13./

#### **4.4.4 Aurinkoenergian hyödyntäminen**

Aurinkoenergiaa pystytään hyödyntämään nykyaikaisin keinoin jo melko tehokkaasti. Suomessa auringosta saatavaa lämpöä voidaan hyödyntää keväästä syksyyn saakka. Hyödyntääkseen auringon säteilyä tarvitaan aurinkokeräimiä, jotka asennetaan usein rakennuksen katolle. Keräin voi olla joko tasokeräin tai tyhjiöputkikeräin. Tasokeräimillä saadaan arvioiden mukaan vuodessa tuotettua lämpöenergiaa 250 - 350 kWh/keräinneliö ja vastaavasti tyhjiöputkikeräimillä 350 - 450 kWh/keräinneliö. Aurinkolämpöjärjestelmään kuuluu myös lämmönkeruuputkisto, vesivaraaja, pumppu ja automaatiojärjestelmä ohjaamista varten. /13./



Aurinkolämpöjärjestelmän avulla tuotetulla energialla on mahdollista kattaa puolet lämpimänkäyttöveden lämmitykseen kuluva energiasta olemassa olevassa rivitalossa, kun keräinpinta-ala pidetään järkevänä. Järjestelmän avulla saatavat hyödyt ja kannattavuus riippuvat suuresti lämmitysenergian hinnasta ja järjestelmän mitoituksista. Esimerkkinä kuvassa 11 on esitetty 4-huoneistaisen rivitalon vuotuisia säästöjä käyttöveden lämmityskustannuksissa. Investointikustannukset 4 huoneiston ja 10 asukkaan rivitalon aurinkolämpöjärjestelmälle ovat noin 25 000 €, kun suunnitellulla järjestelmällä on tavoitteena tuottaa noin puolet käyttöveden lämmitysenergiasta. Kuvassa 11 tätä noin 25 000 €:n investointia esittää vihreä suora (50 %). /13./



**KUVA 11. Säästö vuotuisissa lämmityskustannuksissa (rivitalo, 4 huoneistoa, 10 asukasta, 155 l/asukas) /13/**

#### 4.5 Kuluttajasähkön kulutuksen vähentäminen

Jokaisen asukkaan henkilökohtaisilla valinnoilla on suuri vaikutus sähkönkulutukseen kotona. Esimerkiksi uuden kodinkoneen hankinnan yhteydessä huomioitavia asioita ovat oikeanlaisen laitteen hankinta omaan tarpeeseen ja laitteen energiamerkintä. Mitä parempi energiamerkintä laitteessa on, sitä vähemmän se energiaa kuluttaa.

Yksinkertaisin tapa kotitalouksien energian ja sähkön säästöön on sammuttaa virta kaikista tarpeettomista sähkölaitteista kokonaan. Nykyaikana runsaasti lisääntynyt viihde-elektroniikka on suuri sähkön kulutusta lisäävä tekijä ja sen turha käyttö ja valmiustilat lisäävät sähkön kulutusta huomattavasti. /7./

Keittiössä sähköä kulutetaan eniten ruuan kylmäsäilytykseen. Kylmälaitteiden oikealla sijoittelulla ja oikeilla lämpötiloilla voidaan pienentää niiden energian kulutusta. Huomioon on otettava läheiset lämmönlähteet, kuten uuni tai patteri ja riittävä ilman-kierto laitteen ympärillä, jotka lisäävät kylmälaitteen sähkönkulutusta. Keittiössä sähköä kuluttaa myös ruuanlaitto. Ruuanlaiton yhteydessä kulutusta voi pienentää esimerkiksi hyödyntämällä jälkilämpöä; 200-asteisessa uunissa on lämpöä 30 minuuttia sammuttamisen jälkeen vielä 120 °C. /7./

Kotitalouden laitteiden lisäksi sähköä kuluttaa valaistus. Valaistuksen sähkönkulutukseen helpoin keino on valojen sammuttaminen aina, kun niitä ei tarvita. Oikean lampun ja valaisimen valinta vaikuttaa myös energiatehokkuuteen. Esimerkiksi yleisvalaistukseen suositeltava valaisin on valoa mahdollisimman tasaisesti koko huoneeseen antava valaisin. Lampun valinnassa on syytä kiinnittää lampun tehon lisäksi huomiota myös valon määrä, joka on ilmoitettu pakkauksessa lumen-yksikköä (lm) käyttäen. Samaan lumenmäärään, kuin 60 W hehkulampulla, päästään noin 13 - 15 W energiansäästölampulla. Perinteiseen hehkulamppuun verrattuna energiansäästölampun käyttöikä on myös huomattavasti pidempi, hehkulampun saa vaihtaa noin 6 – 15 kertaa useammin. /7./

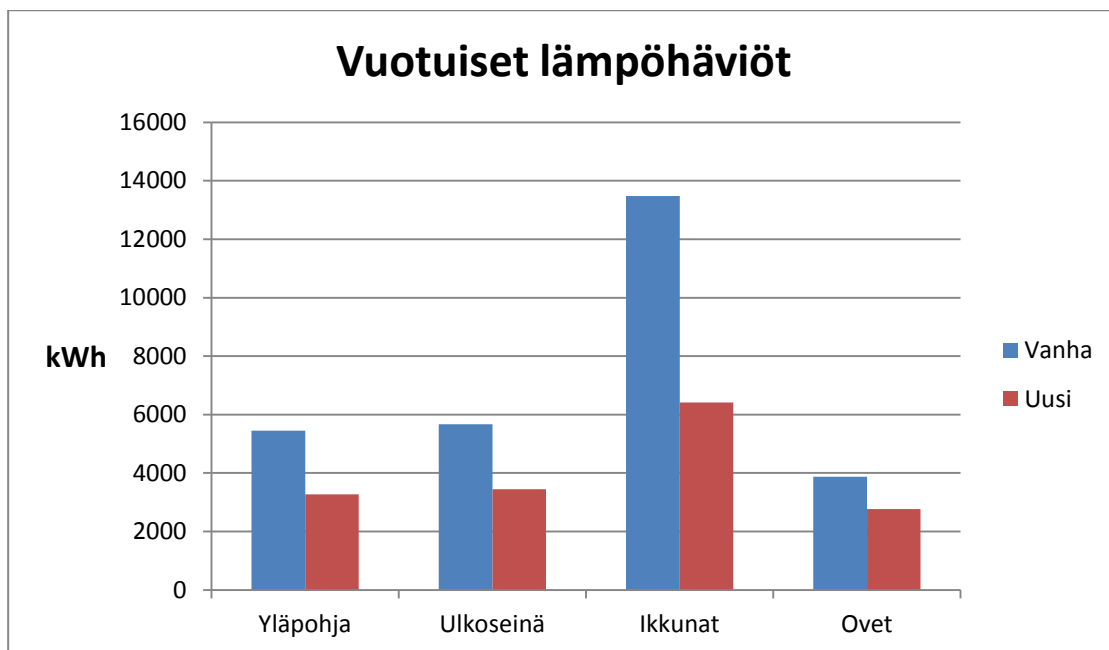
Yksittäisenä suurena sähköenergian kuluttajana mainittakoon huoneistosauna, jonka sähkökiuas on kotitalouden tehollisesti suurin sähkölaitte. Saunan lämmittämiseen kuuluu reilut 50 % kiukaan kuluttamasta sähköenergiasta ja loppu energia menee lämmön ylläpitämiseen. Sähkökiukaiden tehot riippuvat saunan tilavuudesta, karkeasti arvioiden tilavuuskuutiota kohti tarvitaan 1 kW tehoa kiukaaseen, tehontarpeeseen vaikuttavat kuitenkin ikkunat ja varaavat pinnat. Yhtä saunomiskertaa kohti kulutetaan yleensä noin 6 – 10 kWh, joka on rahallisesti noin yhden euron luokkaa. Saunomisen energiatehokkuuteen vaikuttaa huomattavasti saunan lämpötila, lämpötilasuositus on noin 70 – 80 astetta, koska sähköenergian kulutus lisääntyy 20 – 30 lämpötilan noustessa 100 asteeseen. /21./

## **5 PARANNUSTOIMENPITEIDEN LASKENNALLINEN ENERGIANSÄÄSTÖ KOHDERAKENNUKSESSA**

Mahdollisten energiatehokkuuden parantamiseen tähtäävien toimenpiteiden energiansäästölaskelmia konkretisoidaan esimerkkikohteen avulla tässä osiossa. Parannusehdotuksista kohteen tietojen avulla tutkitaan kohteeseen sopivia ratkaisuja sekä tulevaisuuden kannalta varteenotettavia parannus- ja korjausehdotuksia. Vaihtoehtoja käsitellään aihepiireittäin, kuten aiemmassa parannusehdotuksia esittelevässä osiossakin. Parannusehdotusten laskennallisten energiansäästöjen arviointi tapahtuu toteutuneiden kulutustietojen ja laskentapalvelut.fi -ohjelmiston avulla saatujen energiankulutuslukemien avulla. Laskentapalvelut.fi -ohjelmistolla saadut kulutus- ja säästöluvut eivät kuvaa todellista kulutusta, vaan ne on laskettu E-luvun laskentaan liittyvien ohjeiden ja määräysten mukaan.

### **5.1 Rakenteellisen parantamisen energiansäästö**

Kohteen rakenteellista parantamista tutkitaan Laskentapalvelut.fi -ohjelmiston avulla. Ohjelmistoon syötetään kohteen lähtötiedot, jonka jälkeen voidaan tarkastella ohjelmassa olevan energiatehokkuuden parannusehdotuksiin kohdistuvan osion avulla rakenteiden parantamisesta saatavia hyötyjä. Lisäksi tarkasteluja tehdään tietyn rakennosan vuotuisen lämpöhäviölaskennan avulla. Eri rakenneosia koskevat laskentapalvelun tulokset ja Excel-laskelma taulukkomuodossa löytyvät liitteessä 1. Kuvassa 12 on esitetty rakenteiden vuotuiset Excel-laskelmiin (kaava 3) perustuvat lämpöhäviöt vanhalla sekä uudella rakenteella. Seuraavissa kappaleissa käsitellään kuvassa 12 esiteltyjä rakenteita tarkemmin.



**KUVA 12. Vuotuiset lämpöhäviöt**

### 5.1.1 Yläpohja ja alapohja

Kohderakennuksen yläpohjan eristystaso on jo rivitaloa rakentaessa tehty sen aikaisia määräyksiä paremmaksi. 1980-luvulla yläpohjan U-arvot ovat olleet noin  $0,20 - 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Kohteessa yläpohjan lämmönläpäisyarvo on  $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parantamalla yläpohjan U-arvoa lisäeristämällä uudisrakentamisen vertailuarvojen tasolle  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ , lämpöhäviöiden pienemisestä saatava lämmitysenergian säästö on 3309 kWh vuodessa. Tämä tarkoittaa 3 %:n säästöä laskennalliseen kokonaisenergiankulutukseen vuodessa ja 3,5 % kaukolämmöstä.

Yläpohjaa tarkastellessa yksinkertaisemman lämpöhäviölaskennan keinoin yläpohjan U-arvo paranee vertailutasolle siirryttäessä 40 %. Tämä parannus tarkoittaa rakennusosan johtumislämpöhäviölaskennan kaavan (kaava 3) mukaan suoraan yläpohjan lämpöhäviöiden pienemistä 40 %. Johtumislämpöhäviöiden pienentää yläpohjan lämpöhäviöitä kaavan ja lämmitystarveluvun avulla laskettuna 2179 kWh. Likimain sama tulos saadaan Isoverin tarjoaman Energiansäästölaskurin avulla. Lisäämällä 200 mm puhallusvillaa saadaan yläpohjan U-arvo vertailutasolle  $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ :iin antaa laskuri energiansäästökseksi 2146 kWh/a. Laskurin tulos on saatu paikkakunnan ollessa Lappeenranta, ja tämä toki vääristää tulosta hiukan. Energiansäästölaskurin avulla tehdyt laskelmat on esitetty liitteessä 2. Laskurilla ja perinteisen laskennan keinoilla saadut tulokset ovat toteutuneesta lämmön kulutuksesta lähes 4 %, joka on lähellä laskenta-

palvelut -ohjelman avulla saatua tulosta. Aikaisemmin esitetyn 7 – 9 %:n parannusarvion toteutumatta jääminen johtuu kohderakennuksen jo rakennusvaiheessa tehdystä normaalista paremmasta yläpohjan eristyksestä.

Alapohjan parantaminen ei hankaluutensa takia ole käytännössä järkevästi toteutettavissa kohteessa, mutta alapohjan eristystason ollessa 80-luvun tasolla sen lämmönläpäisykerroin on varsin huono ja saatavat säästöt olisivat melko suuria. Nykyisen alapohjan U-arvo on  $0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  ja sen parantamisesta nykymääräysten vertailuarvotasolle  $0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$ , säästetään energiaa laskentapalvelut -ohjelmiston mukaan 11045 kWh/a eli 9,9 % kokonaisenergiankulutuksesta ja 11,6 % lämmitysenergian laskennallisesta kulutuksesta.

### 5.1.2 Seinät, ikkunat ja ovet

Kohderakennuksen ulkoseinien lämmönläpäisykertoimeksi on määritetty  $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ , joka vastaa rakennuksen rakennusajan arvoja. Tämän päivän ulkoseinärakenteen lämmönläpäisykertoimen vertailuarvo on  $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Parantamalla lisäeristyksellä kohteen ulkoseinät uudisrakentamisen vertailuarvoiksi lämpöenergiaa vuodessa säästetään 3383 kWh. Kokonaisenergiankulutuksesta tämä parannus on 3 % ja lämmönkulutuksesta 3,6 %.

Ikkunoiden parantamisessa huomioitavia asioita on läpinäkymätöntä rakennetta enemmän, mutta ikkunan lämmönläpäisykerroin on suuntaa antava energiansäästön kannalta. Vanhojen ikkunoiden lämmönläpäisykertoimen parantaminen arvoon  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$  tarkoittaa vanhan arvon paranemista ja johtumislämpöhäviöiden pienenemistä 52 %:lla. Laskennallisen (laskentapalvelut.fi) energiansäästön suuruus on 10699 kWh, joka on 9,6 % kokonaisenergiankulutuksesta ja 11,3 % lämmitysenergiankulutuksesta. Samaista 52 %:n parannusta tarkasteltaessa lämmitystarveluvun avulla energiaa säästyy ikkunoiden osalta 7059 kWh, joka on toteutuneesta kulutuksesta noin 12 %. Näiden tulosten perusteella ikkunoiden parantamisella päästään reiluun 10 % säästöön lämmitysenergian osalta. Saadut lukemat vastaavat myös aikaisemmin työssä esitetyjä arvioita.

Ovien parantamisella saatu laskennallinen hyöty jää 1683 kWh:iin vuodessa, kun lämmönläpäisykerrointa parannetaan arvosta  $1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$  arvoon  $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Kaavalla 3 laskettuna säästö on 1108 kWh.

## **5.2 Lämmitysjärjestelmän parantamisen energiansäästö**

Kohderakennuksen lämmitysjärjestelmän parantamista pohdittaessa patteriverkoston perussäätö ja patteriventtiilien vaihtaminen on todennäköisesti hyvä vaihtoehto. Seuraavassa kappaleessa on arvioitu toimenpiteiden hyötyjä kohteessa.

Patteriverkoston perussäädöllä saadut hyödyt ovat tapauskohtaisia, mutta tutkimusten ja keskimääräisesti saatujen hyötyjen avulla voidaan arvioida energiansäästöä kohdekiinteistössä. Säädöllä saadun hyödyn ollessa normaalisti 10 – 15 % voidaan varovaisesti arvioiden olettaa 10 %:n säästön toteutuvan kohderakennuksessa. 10 % toteutuneesta lämmitysenergian kulutuksesta normeeratusta kulutuslukemasta on 5,82 MWh. Kohdekiinteistön perussäädön tarpeen suuruutta ei pystytä arvioimaan ilman tietoa järjestelmän nykyisestä toiminnasta. Perussäädön tarkempi hyötyjen arviointi onnistuisi lämmityskauden huonelämpötilatarkastelulla tai asukaskyselyllä. Perussäätötarkastelun lisäksi on arvioitava järjestelmän venttiilien toiminta ja kunto. Kohderakennuksen patteriventtiilien iän ollessa elinkaarensa loppupäässä niiden toiminta ei oletettavasti ole enää parasta mahdollista, joten huonetilojen yllälämpötilat ja toimintahäiriöt ovat todennäköisiä.

## **5.3 Ilmanvaihtojärjestelmän parantamisen energiansäästö**

Kohderakennuksen ilmanvaihtojärjestelmän parantaminen ja sisäilmaston kehittäminen onnistuu parhaiten ja tehokkaimmin koneellisen tulo- ja poistoilmanvaihdon avulla. Tähän järjestelmään liitettävä lämmöntalteenotto tuo myös huomattavat vuotuiset säästöt lämmitysenergian kulutukseen.

Lämmöntalteenottojärjestelmän rakentaminen parantaisi huomattavasti kohderakennuksen energiatehokkuutta riippuen LTO -ratkaisusta ja sen vuosihyötysuhteesta. Nykyisen koneellisen poistoilmanvaihdon korvaaminen lämmöntalteenotollisella tulo- ja poistoilmanvaihdolla voidaan laskelmien mukaan saavuttaa noin 11 – 16 % säästö laskennalliseen kokonaisenergiankulutukseen lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen

ollessa 55 – 75 %. Kilowattitunteina säästö on suuruusluokkaa 12 – 17,5 MWh vuodessa. Laskentapalvelut.fi -ohjelmisto laskee säästön koko rakennukselle kerralla.

Tarvittava koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto tultaisiin kohteessa toteuttamaan hajautetulla järjestelmällä, jossa jokaisen huoneiston ilmanvaihdesta huolehtii oma ilmanvaihtokone, jota voi ohjata ohjausyksiköstä. Vaihtoehtoja tämän järjestelmän toteuttamiseen on monia, niin ilmanvaihtokoneiden, kun muidenkin järjestelyjen osalta. Tässä tarkastelussa käytetään apuna valmistajan kotisivuilta löytyvää ohjelmaa, jolla energian säästöä voidaan laskea. Enervent tarjoaa Energy Optimizer -nimisen työkalun, jossa valitaan sopiva kone, asetetaan ilmapirrat, kanavapaine ja muut lähtötiedot. Tässä laskelmassa poistoilmavirrat valittiin vanhojen suunnitelmien pohjalta ja ne tarkasteltiin riittäviksi. Koneeksi valittiin Enervent Plaza, jonka suorituskyky riittää hyvin kohteessa. Valitussa koneessa on lämmöntalteenottona pyörivä kiekko, joten keittiön kohdepoisto on suositeltavaa hoitaa muulla tapaa, kuin kyseisen ilmanvaihtokoneen kautta. Oikeaa paikkakuntaa ohjelmasta ei löydy, mutta laskelmat tehtiin sekä Helsingin että Jyväskylän avulla. Molemmissa tapauksissa ohjelma ilmoitti vuosihyötysuhteeksi 71,9 %, koska vuosihyötysuhdelaskenta tapahtuu aina Helsingin lämpötila-arvoilla. Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia on Helsingin tapauksessa 5342 kWh ja Jyväskylässä 6094 kWh. Vuotuisen jälkilämmityksen tarve puolestaan oli Helsingissa 199 kWh ja Jyväskylässä 306 kWh. Talteenotetuista energiamääristä voidaan todeta, että Mikkelin leveyspiireillä ohjelman laskema energiamäärä olisi näiden kahden välissä noin 5500 kWh luokkaa, tällöin myös jälkilämmityksen kuluttama energiamäärä olisi noin 250 kWh. Yhdellä koneella saatava 5500 kWh säästö kertautuu neljän koneen myötä.

Laskelmien luotettavuuden arviointia helpottamaan lasketaan talteenotettu energia Excel-taulukkolaskentaohjelman avulla lasketun lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteen avulla. Vuosihyötysuhteen laskenta on esitetty liitteessä. Laskelmassa on käytetty tuloilman lämpötilasuhtena 80 %, poistoilman lämpötilana 21 °C, tuloilman maksimilämpötilana 16 °C ja jäteilman minimilämpötilana -5 °C. Näillä arvoilla Vuosihyötysuhteeksi saadaan 67 % ja poistoilmasta talteenotetuksi energiaksi 4700 kWh. Enerventin laskelmaa matalammat lukemat johtuvat muun muassa lämpötilarajoituksista tulo- ja jäteilmassa. Tuloilman lämpötilasuhte on valittu kyseiseksi, koska pyörivällä kiekolla saavutetaan nykyään usein tätä suuruusluokkaa olevia arvoja, esimerkiksi Enerventin muiden koneiden tuloilman lämpötilasuhteet ovat tätä luokkaa. Myös

jäteilman minimilämpötila on valittu tyypillisten mahdollisten arvojen mukaan. Enerventin Pingvin eco ED- ja LTR-3 eco ED-koneelle on olemassa VTT:n tuotesertifiikaatit, joissa jäteilman minimilämpötilana on  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , joten valittua arvoa voidaan pitää mahdollisena, jopa matalampi lämpötila voi olla mahdollinen.

Laskelmien perusteella energiansäästö on varsin suuri koko rakennuksen osalta. Enervent tarjoaa lukemaa 22 MWh, Laskentapalvelut.fi noin 17 MWh ja Excel-taulukko 18,8 MWh. Näiden säästöjen keskiarvoksi saadaan 19,3 MWh. Laitesähkön kulutuksen muutoksen arvioidaan olevan vähäistä, eikä sitä huomioida tässä työssä. Kaikki ilmanvaihtoa koskevat energialaskelmat löytyvät liitteistä 3 ja 4.

#### **5.4 Käyttövesijärjestelmän parantamisen energian säästö**

Käyttövesijärjestelmän energiatehokkuuden lisääminen kohteessa on järkevää tehdä järjestelmän uusimisen yhteydessä. Kohderakennukset iän lähestyessä 30 vuotta käyttövesijärjestelmä on tulossa käyttöikänsä päähän. Järjestelmän uusimisen yhteydessä vaihtuvat usein myös vesikalusteet ja muut varusteet. Energiatehokkaasti tehdyn käyttövesijärjestelmän uusimisen yhteydessä saavutettu vedenkulutuksen pieneneminen on yleensä 10 – 30 %. Vesikalusteiden uusimisen, huoneistokohtaisen vedenmittauksen ja mahdollisesti paremmin järjestetyn lämpimän käyttövedenkierron ansiosta kohdekiinteistössä olisi mahdollista päästä varovaisen arvion mukaan 15 % veden kulutuksen vähenemiseen. Tämä tarkoittaa kohdekiinteistön kohdalla lähes  $80\text{ m}^3$  vuotuista veden säästöä. Käyttöveden kulutuksesta noin 40 % on lämmintä vettä, joten lämpimän käyttöveden lämmittämiseen kuluu tällä säästöllä kaavan 1 mukaan 1870 kWh alkuperäistä lukemaa 12400 kWh vähemmän. Kohteen käyttöveden virtaamien ja virtaamien säätömahdollisuuksien tarkastaminen tulisi tehdä ennen arvioita mahdollisista säästöistä.

Käyttövesijärjestelmän energiataloutta parantamalla aurinkolämpöjärjestelmän avulla saatavat säästöt riippuvat järjestelmän mitoituksesta. Hyvin toimivalla järjestelmällä voidaan kattaa puolet kohdekiinteistön vuotuisesta lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutuksesta, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa noin 6183 kWh. /12./



## 6 INVESTOINNIN TALOUDELLINEN KANNATTAVUUS

Parannusehdotusten toteuttamiseen suuresti vaikuttavaa taloudellista puolta käsitellään tässä osassa opinnäytetyötä. Ehdotusten energiansäästöpotentiaalin mukaan on valittu kustannustarkasteluun parannuskeinoista parhaita vaihtoehtoja kohderakennuksen kannalta. Osa tästä tarkastelusta pois jätetyistä parannusehdotuksista on hyviä, mutta eivät ole energiansäästöpotentiaaliltaan sitä luokkaa, että ne olisivat kannattavia ilman pakottavaa korjaustarvetta. Perinteisesti kannattavuutta tutkitaan elinkaaritaloudellisin laskelmin. Elinkaaritaloutta tarkastellessa kannattaa käyttää vähintään kahta eri menetelmää arvioinnin helpottamiseksi ja tarkentamiseksi. Menetelmiä on monia, mutta tässä työssä käytetään perinteistä takaisinmaksuajan menetelmää sekä nykyarvomenetelmää, joka on yksi käytetyimmistä menetelmistä investoinnin kannattavuutta arvioitaessa /22/. Menetelmät tähän työhön on valittu niiden yleisen käytön ja soveltuvuuden takia.

Takaisinmaksuajan menetelmä on varsin yksinkertainen keino taloudellisen kannattavuuden arviointiin. Sen avulla on tarkoitus laskea aika, jonka aikana korjaushankkeesta saatavat säästöt tai hyödyt ovat yhtä suuret kuin tehty investointi. Laskenta ei kuitenkaan huomioi laskentakorkoa. Takaisinmaksuajan menetelmän laskentakaava (8) on seuraavanlainen /22/:

$$N = \frac{I}{A} \quad (8)$$

jossa

$N$	takaisinmaksuaika vuosissa
$I$	investointikustannus €
$A$	vuotuiset nettotuotot €/a

Nykyarvomenetelmä kertoo investoinnin kannattavuudesta enemmän kuin takaisinmaksuajan menetelmä. Nykyarvomenetelmän avulla kaikki tuotot, kulut ja investoinnit diskontataan ja lasketaan yhteen kaavan 9 mukaisesti. /22./

$$P = \sum_{k=1}^n \frac{T_k}{(1+i)^k} - \sum_{k=1}^n \frac{K_k}{(1+i)^k} - I_0 + \frac{S}{(1+i)^n} \quad (9)$$

jossa

$T_k$	vuoden k tuotot, €
$K_k$	vuoden k kulut, €
$I_0$	alkuinvestointi ensimmäisen vuoden alussa, €
$S$	jäännösarvo vuoden n lopussa, €
$i$	valittu laskentakorko

Nykyarvomenetelmän kaava voidaan kirjoittaa samansuuruisten jaksollisten suoritus-  
ten diskonttaustekijöiden avulla yksinkertaisemmin kaavan 10 mukaisesti:

$$P = a_{nT}T - a_{nK}K - I_0 + \frac{S}{(1+i)^n} \quad (10)$$

jossa

$a_{nT}$	tuottojen n vuoden ajanjaksolle laskettu diskonttaustekijä
$a_{nK}$	kulujen n vuoden ajanjaksolle laskettu diskonttaustekijä

Diskonttaustekijät lasketaan kaavalla 11:

$$a_n = \frac{1-(1+i)^{-n}}{i} \quad (11)$$

Laskettaessa kannattavuutta korjausrakentamista koskevissa hankkeissa käyttöajan päättyessä jäännösarvoa  $S$  ei yleensä ole, jolloin kaavasta 10 jää viimeinen termi pois. Valitulla laskentakorolla tarkoitetaan investoinnille asetettua tuottovaatimusta. Energiainvestointien osalta korkokannan valinta on vaikeaa energian hinnan huonon ennustettavuuden takia. Energian hinnan nousuun vaikuttaa muun muassa inflaatio, jolla tarkoitetaan yleistä kustannustason nousua. Energian hinta voi kuitenkin poiketa yleisestä inflaatiosta huomattavasti esimerkiksi maailmanpoliittisen tilanteen muutosten seurauksena. Tätä eroa kuvaa suure eskalaatio. Eskalaation ja inflaation huomioiminen nettonykyarvomenetelmää käyttäessä onnistuu kaavojen 12 ja 13 avulla. Kaavalla 12 lasketaan inflaation huomioiva reaalikorko ja kaavalla 13 myös eskalaation huomiointi ottava reaalikorko, jota käyttämällä aiemmissa kaavoissa korkotekijänä on mahdollista huomioida rahanarvon vaihteluita ja hinnan muutoksia. /22./ Pitkän aikavälin

tarkasteluissa suhdanteiden vaihtelujen arviointi on todella haastavaa. Tulevissa laskelmissa käytettävien inflaation ja eskalaation arvojen avulla halutaankin kuvata lähinnä niiden vaikutuksen suuruutta takaisinmaksuaikoihin. Varsinaisesti todellista tilannetta niillä ei kuvata.

$$r = \frac{i-f}{1+f} \quad (12)$$

jossa

$r$	reaalikorko
$i$	nimelliskorko
$f$	inflaatio

$$r_e = \frac{r-e}{1-e} \quad (13)$$

jossa

$r_e$	eskalaation huomioon ottava reaalikorko
$e$	eskalaatio

Nykyarvomenetelmän kaavoista 10 ja 11 voidaan johtaa kaava, jolla päästään suoraan takaisinmaksuaikaan käsiiksi. Yhdistämällä kaavat saadaan kaava 14, kun energian hinnan eskalaatiota ei huomioida. Huomiointi onnistuu edellisessä kappaleessa mainitulla tavalla.

$$n = \frac{\ln \frac{T-K}{T-K-iI_0}}{\ln(1-i)} \quad (14)$$

jossa

$n$	takaisinmaksuaika, a
$T$	vuotuiset tuotot, €
$K$	vuotuiset kulut, €
$i$	laskentakorko
$I_0$	investointi, €

## 6.1 Rakenneparannusten elinkaaritalous

Etelä-Savon Energian kaukolämmön kokonaishinta rivitalojen lämpöenergialle on 71,33 €/MWh, kun vuosikulutus on noin 150 MWh /23/. Kohderivitalon kulutuksen ollessa tätä pienempi myös energian hinta on todellisuudessa hieman korkeampi. Käyttäen tätä alhaisempaa energian hintaa laskelmissa aliarvioidaan tietoisesti saattavia säästöjä, jolloin arviot eivät ole liian optimistisia. Seuraavissa kappaleissa esitetyt tulokset ja laskelmat on esitetty taulukkomuodossa liitteissä 1 ja 5.

Yläpohjaa parantamalla saadut laskennalliset hyödyt olivat noin 2180 kWh/a. Tästä saadaan vuotuisiksi rahallisiksi säästöiksi 155,50 €. Isoverin tarjoama laskuri antaa syötetyllä energian hinnalla luonnollisesti samaa luokkaa olevan säästön, koska energiansäästötkin olivat samansuuntaiset. Yläpohjan lisäeristämisen investointikustannukseksi arvioidaan noin 2000 € (6,20 €/m<sup>2</sup>), kun normaalisti 200 - 300 mm lisäeristys maksaa 5 – 9 €/m<sup>2</sup>. Takaisinmaksuajaksi saadaan perinteisellä keinolla laskettuna (kaava 8) 12,9 vuotta. Nettonykyarvomenetelmällä (kaava 14) takaisinmaksuaika on noin 21 vuotta, kun laskentakorkona käytetään 5 %. Huomioimalla matalan inflaation (1 %) ja varsin alhaisen eskalaation (2 %) putoaa takaisinmaksuaika vajaaseen 15 vuoteen.

Ikkunoita tarkastellessa vuotuiseksi energiansäästökseksi todettiin 7060 kWh/a. Lämpöenergian hinnan avulla laskettu vuotuinen säästö on 503,60 €. Ikkunoiden uusiminen paremman U-arvon omaaviksi maksaa keskimäärin 350 - 450 €/m<sup>2</sup>, kun lasketaan kohteeseen uudet ikkunat 400 € neliö hinnalla investointikustannukseksi saadaan 22 800 €. Takaisinmaksuajan menetelmä antaa takaisinmaksuajaksi reilut 45 vuotta. Nettonykyarvomenetelmällä laskettaessa vuotuiset kulut oletetaan vähäisiksi, laskentakorkona käytetään 5 % ja käyttöikä 30 vuotta (kaavat 10 ja 11), jolloin:

$$a_n = \frac{1 - (1 + 0,05)^{-30}}{0,05} = 15,37a$$

$$P = 15,37a * 503,60€/a - 22800€ = -15058€$$

Nykyarvon jäädessä negatiiviseksi investointi ei ole menetelmän mukaan kannattava. Laskemalla matalan inflaation ja eskalaation huomioon ottaen nykyarvo jää edelleen yli 10 000 € negatiiviseksi.

## 6.2 LVI-teknisten parannusten elinkaaritalous

Patteriverkoston perussäädöllä saatavaksi energiansäästöksi kohteessa arvioitiin 5,82 MWh vuosittain. Energian hinnan avulla laskettu vuosittainen säästö tällöin on noin 415 €. Riippuen siitä, vaihdetaanko perussäädön yhteydessä venttiileitä, vaihtelevat suuresti myös perussäädöstä aiheutuvat kustannukset. Tehdessä kohteeseen pelkkä perussäätö venttiileitä vaihtamatta kokonaiskustannusta voidaan arvioida yksittäisen patterin keskimääräisen kustannuksen avulla. Yksittäiselle patterille säädöstä ja laskennasta muodostuva kustannus on noin 35 – 40 €. Kohteessa pattereita on 25, joten hinnaksi muodostuu noin 900 – 1000 €. Venttiilien vaihtaminen kasvattaa kokonaiskustannusta asennustyön lisääntymisen ja uusien venttiilien hankinnan myötä, jolloin patterikohtainen hinta nousee noin 100 €:oon. /24./ Tämä tarkoittaisi noin 2500 € kokonaisinvestointia. Pelkän säädön takaisin takaisinmaksuajaksi saadaan eri menetelmillä noin 2,5 vuotta. Venttiilien vaihtamisen yhteydessä takaisinmaksuaika kasvaa noin 6 – 7 vuoteen.

Kohdekiinteistön ilmanvaihdon kehittäminen lämmöntalteenotolla varustetuksi tulo- ja poistoilmanvaihdoksi neljän huoneistokohtaisen iv-koneen avulla toisi laskelmien mukaan noin 19 MWh eli yli 30 % lämmitysenergiesäästöön vuosittain poistoilmasta talteenotetun lämpöenergian avulla. Rahallisesti tämä säästö on 1355,30 € vuodessa, kun energian hintana on käytetty 71,33 €/MWh. Rivitalojen osalta ilmanvaihtojärjestelmänmuutoksen investointikustannukset ovat keskimäärin 100 – 150 €/asm<sup>2</sup>. Hintarvion alarajaa 100 € neliölle käyttäen investointikustannus on noin 32 000 €, joka on todennäköisesti melko lähellä totuutta, mutta arvioiden mukaan investointikustannuksen on mahdollista olla myös jopa 25 000 €. Laskelmissa käytetään 30 000 €:n investointikustannusta. Kaavalla 8 takaisinmaksuajaksi saadaan 22,1 vuotta. Nettonykyarvomenetelmän avulla takaisinmaksuaika on noin 29 vuotta, kun nimelliskorkona on 5 %, inflaationa 1 % ja eskalaationa 2 %.

Käyttövesijärjestelmän energiataloutta parantamalla aurinkolämpöjärjestelmän avulla saatavat säästöt ja investoinnin suuruus riippuvat järjestelmän mitoituksesta. Hyvin

toimivalla järjestelmällä voidaan kattaa puolet kohdekiinteistön vuotuisesta lämpimän käyttöveden lämmitysenergian kulutuksesta, mikä tarkoittaa tässä tapauksessa 6183 kWh. /12./ Rahallisesti säästyy vuosittain noin 441 € lämmitysenergiakustannuksissa. Neljän huoneiston rivitaloon tällaisen järjestelmän rakentaminen maksaa noin 25 000 €. Takaisinmaksuajaksi (kaava 8) muodostuu siten lähes 57 vuotta, joten nykyhinnoilla investointi ei olisi kannattava.

Käyttövesijärjestelmän iän takia suuria korjauksia nykyiseen järjestelmään ei ole kannattavaa tehdä, koska järjestelmän uusiminen on lähellä. Käyttövesijärjestelmää uusittaessa on toki kiinnitettävä huomiota energian säästöä koskeviin seikkoihin, joita tässäkin opinnäytetyössä on esitelty.

LVI-tekniisiä parannuksia koskevat elinkaaritalouslaskelmat on esitetty liitteessä 5.

## 7 TULOSTEN TARKASTELU

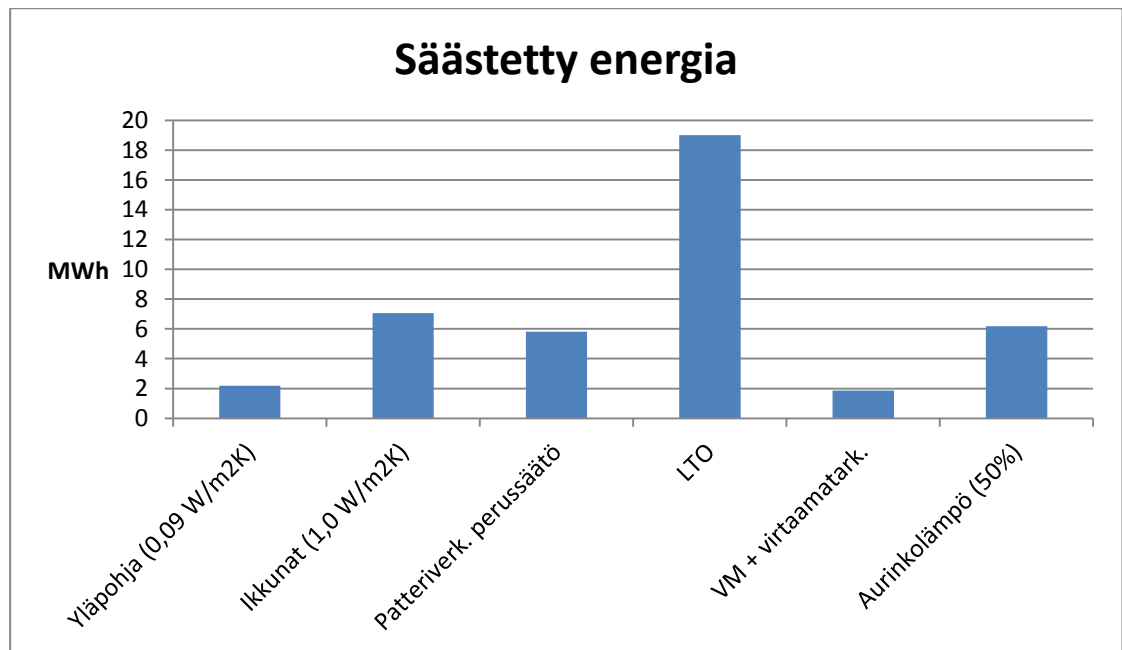
Työn tuloksia tarkastellessa on huomioitava, että parannusehdotuksia on tarkasteltu varsin yksinkertaisin laskelmin eivätkä ne ole absoluuttisia totuuksia. Laskelmia on tehty useiden lähteiden perusteella, jotta tulosten luotettavuus paranisi. Todellisten säästölukemien määrittämiseen tarvitsisi tarkkaa tutkimusta kohteen lähtötilanteesta.

Rakenteellisista energiatehokkuuden parannusvaihtoehdoista parhaaksi taloudellisesti perusteltuna osoittautui yläpohjan lisäeristäminen puhallusvillan avulla. Yläpohjan lisäeristämisen helppous ja edullisuus mahdollistavat lyhyet takaisinmaksuajat, joten yläpohjan lisäeristäminen iäkkäämmässä rakennuksessa on lähes aina kannattavaa, jos se on mahdollista ilman suuria lisätoimia. Ikkunoita parannettaessa saadut säästöt ovat varsin suuria, mutta korkea investointikustannus kasvattaa takaisinmaksuajat mahdottomiksi. Energiatehokkaisuuteen ikkunoihin kannattaa kuitenkin investoida ikkunoita uusittaessa, koska säästöt ovat tuntuvia, eivätkä kustannukset kasva usein liikaa panostessa laadukkaisiin ikkunoihin. Seinien osalta investointikustannus on suuri ajateltaessa vain energiatehokkuutta ja seinien lämpöhäviöiden ollessa 9 – 11 % rivitalon lämmöntarpeesta säästöpotentiaaliakaan ei ole kovin paljon. Julkisivremontin yhteydessä ulkoseinien lisäeristäminen on kuitenkin usein kannattavaa.

Patteriverkoston perussäädöllä saatavat hyödyt ovat kustannuksiin nähden varsin suuret. Perussäätöä voidaankin pitää kannattavana vaihtoehtona energiatehokkuuden lisäämiseen. Kohderakennuksen iäkkäiden patteriventtiilien vaihtaminen todennäköisesti vähentää lämmitysenergian kulutusta nykyisestä. Verkoston perussäätö on tehtävä joka tapauksessa, jos muutoksia tehdään kohderakennuksen vaipparakenteisiin.

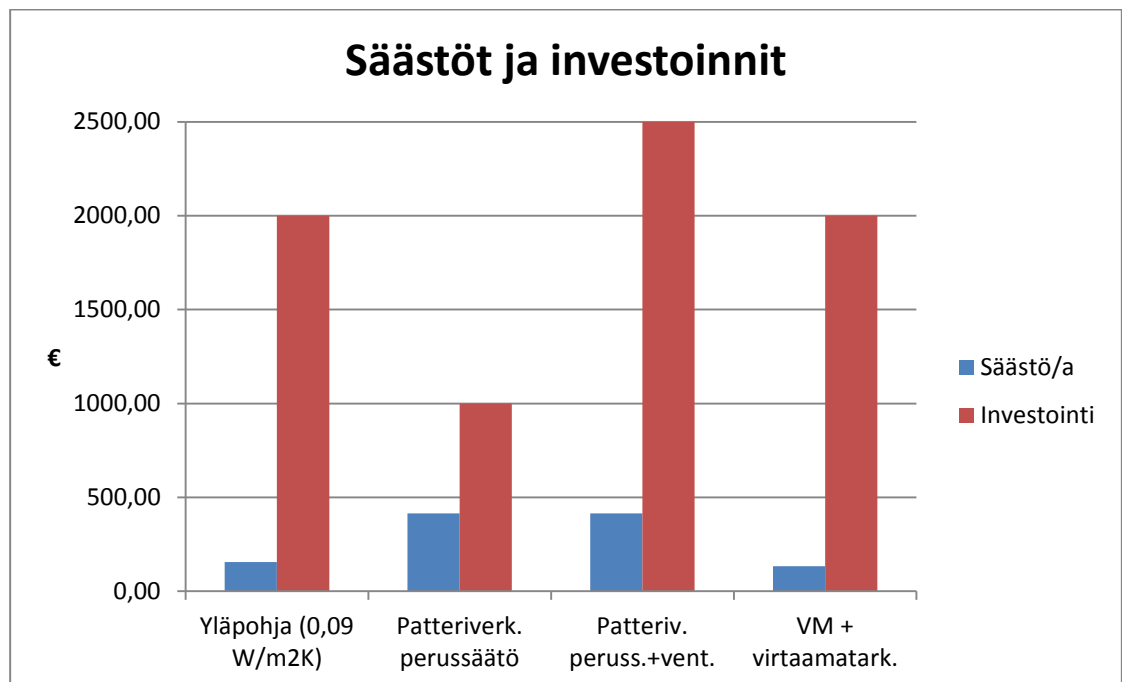
Käyttövesijärjestelmän parantamista yksittäisillä toimenpiteillä voi harkita, mutta on todennäköistä, että on taloudellisesti kannattavampaa tehdä energiatehokkuuteen tähtäävät toimenpiteet käyttövesiverkoston uusimisen yhteydessä. Kohteeseen tulisi tehdä virtaamatarkastelut, jotta esimerkiksi vakiopaineventtiilin hyödyistä voitaisiin tehdä tarkempia laskelmia. Käyttövesijärjestelmän parantaminen aurinkolämpöä hyödyntämällä vaatisi tarkempia tutkimuksia, mutta tässä työssä tehtyjen laskelmien mukaan takaisinmaksuajat venyvät todella pitkiksi.

Ilmanvaihtojärjestelmää parantaessa lämmöntalteenottojärjestelmän avulla saadaan reilusti suurimmat säästöt, kuten vielä kuvasta 13 nähdään, mutta tässäkin tapauksessa investointikustannusten ollessa suuret järjestelmä ei välttämättä maksa itseään takaisin käyttöaikanaan. Huomioitavaa on myös se, että elinkaaritaloutta koskevissa laskelmissa ei ole huomioitu millään tavalla huoltokuluja, jotka vähentävät vuotuisia rahallisia säästöjä. Tällaisia kuluja muodostuu vuosittain muun muassa suodattimien vaihtamisesta ja mahdollisista toimintahäiriöistä järjestelmässä. Koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto lisää kuitenkin asumisviihtyvyyttä esimerkiksi hallitusti huoneisiin johdetun esilämmitetyn tuloilman myötä. Lisäksi sisäilmaolosuhteet paranevat yleensä paremman ilmanvaihtuvuuden ja suodatuksen avulla. Näitä seikkoja talouslaskelmissa ei voi huomioida, vaan niitä on arvioitava muilla keinoilla.



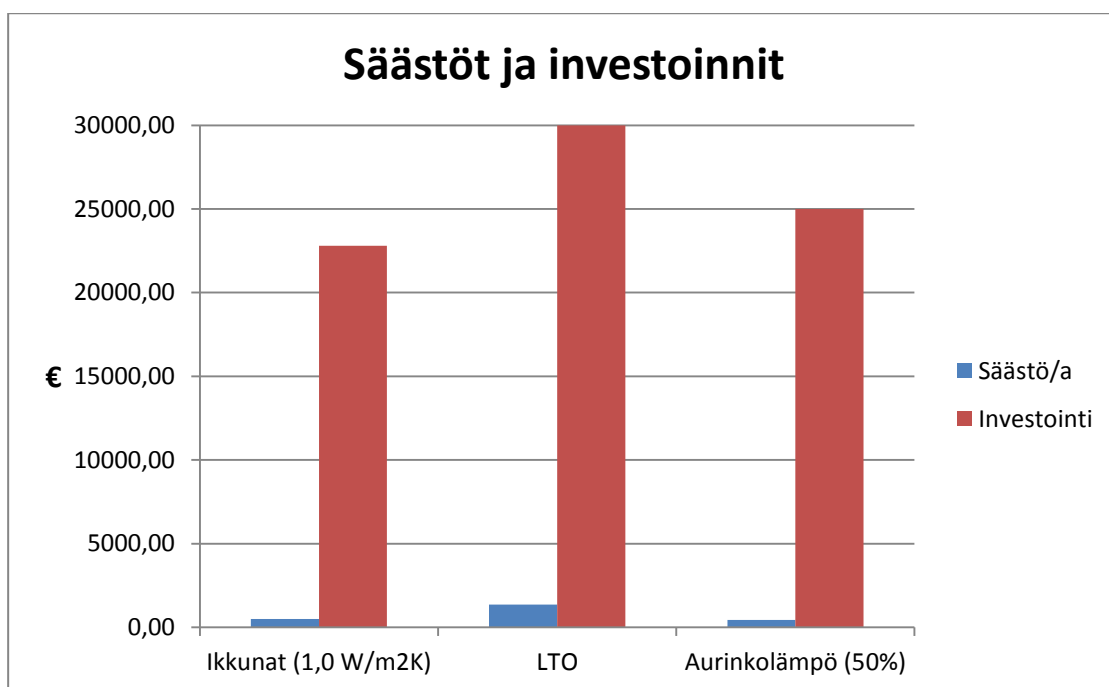
**KUVA 13. Vuodessa säästetty energia**

Jo todetut vuotuiset säästöt ja investoinnit on esitetty vielä kuvissa 14 ja 15. Kuvien perustella voidaan hyvin havainnollistaa kuinka pieniä vuotuiset laskennalliset säästöt tutkituiden toimenpiteiden osalta ovat suhteessa investointeihin suuremmissa investoinneissa (kuva 15). Halvempien investointien osalta säästöt investointeihin verrattuna ovat suurempia, mikä todettiin jo aikaisemmin takaisinmaksuaikoja tarkastellessa.



**KUVA 14. Säästöt ja investoinnit (matalat investointikulut)**





**KUVA 15. Säästöt ja investoinnit (korkeat investointikulut)**

## 8 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda materiaali kaukolämpöön liitetyn rivitalon energiatehokkuuden parannusvaihtoehdoista vaihtoehtojen tapauskohtaisia arviointia varten. Keinoja parantamiseen on paljon, ja niiden soveltuvuutta kohteeseen on arvioitava aina tapauskohtaisesti. Rakennuskannan korjaustarpeen kasvaessa myös energiatehokkuuden parantamiseen tulee koko ajan ajankohtaisemmaksi. Energiatehokkuutta onkin tulevaisuudessa tarpeellista parantaa lähes kiinteistössä kuin kiinteistössä.

Työssä huomattiin, että nykykeinoin on mahdollista saavuttaa suuriakin säästöjä lämmitysenergian tarvetta pienentämällä. Suurista säästöistä huolimatta investointien taloudellinen kannattavuus on monessa tapauksessa kyseenalaista. On kuitenkin huomioitava, että korjauskustannuksia muodostuu joka tapauksessa, kun toimenpiteisiin ryhdytään. Vanhaa korjausta tarvitsevaa järjestelmää uusittaessa tai korjattaessa olisi aina syytä kiinnittää huomiota myös energiatehokkuuteen.

Useiden korjaustoimenpiteiden yhteisvaikutuksia ja kustannuksia on usein vaikeaa arvioida ilman perusteellista tarkastelua. Usein kustannuksia saadaan suhteessa pienemmiksi, kun tehtävät työt ovat mittavampia tai useita töitä tehdään saman korjauk-

sen yhteydessä. Energiakorjauksien ajankohtaa onkin pyrittävä aikatauluttamaan osaksi suurempaa peruskorjausta tai energiatehokkuuden parannuskokonaisuutta. Tällöinkin taloudellisin vaihtoehto korjaustyöhön määräytyy kokonaisuudesta, eikä eri osalueiden erillisvalinnasta johtuen osatekijöiden voimakkaasta keskinäisestä riippuvuudesta kustannuksiin sekä säästöihin ja muihin hyötyihin. Esimerkiksi rakennukseen tehtävät energiakorjaukset nostavat luonnollisesti koko rakennuksen arvoa, myös tämä on pyrittävä huomioimaan suunnitteluvaiheessa. /12./

Lisätutkimusta energiatehokkuuden parantamista ja sen kannattavuutta ajatellen olisi tarpeellista tehdä korjaustoimenpiteiden yhteisvaikutuksia tutkimalla. Esimerkiksi rakenteellisen parantamisen vaikutuksia rakennuksen tiiviyyteen olisi varmasti hyvä tutkimuskohde. Sopivien kohteiden löytyessä myös toteutuneiden säästöjen tutkiminen olisi järkevää, oli tehty parannustoimenpide mikä tahansa.

## LÄHTEET

1. Motiva Oy. Huoneistokohtaisten vesimittareiden käyttö ja vaikutukset rakennusten energiankulutukseen. Ympäristöministeriö. PDF-dokumentti.  
[http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio\\_Huoneistokohtaisten\\_vesimittareiden\\_kaytto\\_ja\\_vaikutukset\\_rakennusten\\_energiankulutukseen.pdf](http://www.motiva.fi/files/5725/Tyoryhmamuistio_Huoneistokohtaisten_vesimittareiden_kaytto_ja_vaikutukset_rakennusten_energiankulutukseen.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 24.2.2014.
2. Ympäristöministeriö. Laki rakennuksen energiatodistuksesta. WWW-dokumentti.  
<http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130050>. Päivitetty 18.1.2013. Luettu 3.1.2014
3. Heljo, Juhani, Nippala, Eero & Nuuttila, Harri 2005. Rakennusten energiankulutus ja CO<sub>2</sub>-ekv päästöt Suomessa. Tampereen teknillinen yliopisto. EKOREM –projekti. Loppuraportti. PDF-dokumentti.  
[http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM\\_Loppuraportti\\_051214.pdf](http://webhotel2.tut.fi/ee/Materiaali/Ekorem/EKOREM_Loppuraportti_051214.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 5.1.2014.
4. Jaakkola, Tuomo, Lindstedt, Tuomo & Junnonen, Juha-Matti. Energiatehokas asuinkerrostalojen talotekniikkakorjaus. Tampere: Tammerprint Oy. 2010.
5. Ympäristöministeriö. Suomen rakennusmääräyskokoelman osa D3. PDF-dokumentti. [http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012\\_Suomi.pdf](http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 3.1.2014.
6. Virta, Jari 2011. Energiatehokkuuden parantaminen taloyhtiössä. Kiinteistöliitto. PDF-dokumentti. <http://www.kiinteistoyhdistysoulu.fi/sivut/wp-content/uploads/jari-virta-313-2011.pdf>. Päivitetty 31.3.2011. Luettu 11.2.2014.
7. Motiva Oy. Yrityksen WWW-sivut. [http://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen](http://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen). Päivitetty 19.11.2013. Luettu 3.1.2014.
8. Ympäristöministeriö. Suomenrakennusmääräyskokoelman osa D5. PDF-dokumentti. <http://www.finlex.fi/data/normit/29520-D5-190607-suomi.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 3.1.2014.
9. Ympäristöministeriö. WWW-dokumentti.  
<http://www.korjaustieto.fi/taloyhtiot/energiakorjaukset/energiankulutus-asuinkerrostalossa.html> Päivitetty 12.2.2014. Luettu 12.2.2014.
10. Motiva Oy. Yrityksen WWW-sivut. [http://www.motiva.fi/julkinen\\_sektori](http://www.motiva.fi/julkinen_sektori) Päivitetty 23.7.2013 Luettu 12.2.2014
11. Etelä-Savon Energia Oy. Lämpöinfo 1/2013. PDF-dokumentti.  
[http://www.es.fi/files/1113/8383/0352/Lampoinfo\\_1\\_2013.pdf](http://www.es.fi/files/1113/8383/0352/Lampoinfo_1_2013.pdf). Ei päivitystietoja. Luettu 15.3.2014.
12. Suomen Rakennusinsinöörien liitto RIL Ry. RIL 249-2009 Matalaenergiaraken-  
taminen – asuinrakennukset. Saarijärvi: Offset Oy. 2009

13. Taloyhtio.net. Taloyhtiön energiakirja – sähköinen versio. WWW-dokumentti. <http://www.taloyhtio.net/ajassa/energiakirja/> Ei päivitystietoja. Luettu 20.2.2014.
14. Oulun rakennusvalvonta. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.energiakorjaus.info/>. Ei päivitystietoja. Luettu 20.1.2014.
15. VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka 2003. WebDian WWW-sivut. <http://www.rte.vtt.fi/webdia/kaukolampo/index.asp>. Ei päivitystietoja. Luettu 3.3.2014.
16. Motiva Oy. Lämmitysverkoston perussäätö säästää rahaa ja luo terveellisen sisäilmaston. PDF-dokumentti. <http://www.motiva.fi/files/781/perussaato-esite.pdf>. Päivitetty 2/2002. Luettu 3.3.2014.
17. Paroc Oy. Talotekniikan eristysratkaisut. PDF-dokumentti. <http://www.paroc.fi/~media/Files/Brochures/Finland/HVAC-Solutions-Paroc-Flashx>. Ei päivitystietoja. Luettu 3.3.2014.
18. Motiva Oy. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.motiva.fi/rakentaminen>. Päivitetty 30.8.2013. Luettu 6.1.2014.
19. Ympäristöministeriö. Tasauskalkulaatio 2012. PDF-dokumentti. [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma). Ei päivitystietoja. Luettu 17.3.2014.
20. Motiva Oy. Lämpöä ilmassa. PDF-dokumentti. <http://www.motiva.fi/files/175/Ilmalampopumput.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 17.2.2014.
21. Energiateollisuus ry. Yhdistyksen WWW-sivut. <http://energia.fi/koti-ja-lammitys/kodin-sahkolaitteet/sahkokiukaat>. Ei päivitystietoja. Luettu 6.4.2014.
22. Siren, Kai 2010. Rakennusten energiainvestoinnin kannattavuuden laskenta. Aalto-yliopisto. PDF-dokumentti. [https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-58.4129/materiaali/Ene-58\\_4129\\_energiainvestoinnit\\_2.pdf](https://noppa.aalto.fi/noppa/kurssi/ene-58.4129/materiaali/Ene-58_4129_energiainvestoinnit_2.pdf) Ei päivitystietoja. Luettu 18.3.2014.
23. Energiateollisuus ry. Kaukolämmön hinnat. PDF-dokumentti. [http://energia.fi/sites/default/files/hinta\\_010114\\_0.pdf](http://energia.fi/sites/default/files/hinta_010114_0.pdf). Päivitetty 1.1.2014. Luettu 20.3.2014.
24. Kalema, Timo, Mäkitalo, Eerik, Rintamäki, Jari, Sahakari, Tiina, Harju-säntti, Erkki, Heikkilä, Heli & Suomalainen, Taru. Julkisten rakennusten energiatehokkuuden parantaminen. PDF-dokumentti. <http://www.tut.fi/idcprod/groups/public/@1102/@web/@p/documents/liit/p025279.pdf>. Ei päivitystietoja. Luettu 1.4.2014.

Rakenneosia koskevat energiansäästölaskelmat

Excel-taulukko rakenneparannuksista

Rakenteellinen parantaminen											
Johtumishäviöt											
					Rakennusosien ominaishäviö			Lämmitystarveluvulla lasketut häviöt			
Rak.osa	Ala m <sup>2</sup>	Vanha W/m <sup>2</sup> K	Uusi W/m <sup>2</sup> K	Parannus %	Vanha W/K	Uusi W/K	Pudotus W/K	Q vanha kWh	Q uusi kWh	Q säästö kWh	Säästö €
Yläpohja	322,6	0,15	0,09	40	48,39	29,0	19,4	5448	3269	2179	155
Ulkoseinä	179,9	0,28	0,17	39	50,372	30,6	19,8	5671	3443	2228	159
Ikkunat	57	2,1	1	52	119,7	57,0	62,7	13476	6417	7059	504
Ovet	24,6	1,4	1	29	34,44	24,6	9,8	3877	2770	1108	79

Rakenneparannusten tuomat energiansäästöt (laskentapalvelut.fi)

Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut säästöt				
1	Seinien lisäeristäminen uudisrakentamisen vertailuarvoiksi (lämmin tila)			
2	Ikkunoiden vaihtaminen U-arvolle 1.0 W/m2K			
3	Ulko-ovien vaihtaminen U-arvolle 1.0 W/m2K			
	Lämpö, ostoenergian säästö	Sähkö, ostoenergian säästö	Jäähdytys, ostoenergian säästö	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWhE/m <sup>2</sup> vuosi
1	3383 (3.0 %)			-7 (-2.7 %)
2	10699 (9.6 %)			-23 (-8.8 %)
3	1683 (1.5 %)			-4 (-1.5 %)

Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut säästöt				
1	Yläpohjien lisäeristäminen uudisrakentamisen vertailuarvoiksi (lämmin tila)			
2	Alapohjien lisäeristäminen uudisrakentamisen vertailuarvoiksi (lämmin tila)			
3	Ylä- ja alapohjien U-arvot uudisrakentamisen vertailuarvoiksi (lämmin tila)			
	Lämpö, ostoenergian säästö	Sähkö, ostoenergian säästö	Jäähdytys, ostoenergian säästö	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWhE/m <sup>2</sup> vuosi
1	3309 (3.0 %)			-7 (-2.7 %)
2	11045 (9.9 %)			-23 (-8.8 %)
3	14291 (12.9 %)			-30 (-11.5 %)

Isover Energiasäästölaskurin tulokset (yläpohja)

Laskelma Lappeenrantaan



## Energiansäästölaskuri

### ISOVER Energiansäästölaskuri

**Yläpohjan eristäminen 323 m<sup>2</sup>**

**Vanha yläpohja**  
Ristikkoyläpohja  
300mm, Puhallusvilla

**Uusi yläpohja**  
Puhallusvillan lisäys: ISOVER Puhallusvilla 200mm

Rakenteen vanha u-arvo: 0,15  
Rakenteen uusi u-arvo: 0,09

**Säästösi**

Säästö seinärakenteen eristyksestä: 0 €  
Säästö yläpohjan eristyksestä: 153 €  
Kokonaissäästö: 153 €, 2146 kWh

Laskelma Jyväskylään



## Energiansäästölaskuri

### ISOVER Energiansäästölaskuri

**Yläpohjan eristäminen 323 m<sup>2</sup>**

**Vanha yläpohja**  
Ristikkoyläpohja  
300mm, Puhallusvilla

**Uusi yläpohja**  
Puhallusvillan lisäys: ISOVER Puhallusvilla 200mm

Rakenteen vanha u-arvo: 0,15  
Rakenteen uusi u-arvo: 0,09

**Säästösi**

Säästö seinärakenteen eristyksestä: 0 €  
Säästö yläpohjan eristyksestä: 164 €  
Kokonaissäästö: 164 €, 2293 kWh

Lämmitysenergian hintana on 71,33 €/MWh

## Ilmanvaihdon parantamisen laskelmat

## Enervent Energy Optimizer (1-2)

## Laskentapalvelut.fi (3)

Laskelma Jyväskylään

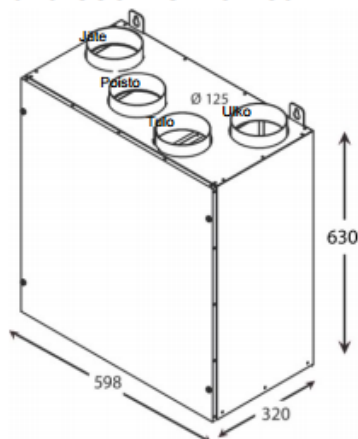


Saves Your Energy

Energy Optimizer

Sivu 1  
25.03.2014Kohde:  
Käsittelijä:

## Plaza eco ECE oikea



Laitetiedot: Plaza eco ECE oikea	
Kanavalähdöt	Ø 125 mm
Leveys	598 mm
Korkeus	630 mm
Syvyys	320 mm
Paino	46 kg
Puhaltimen teho	119 W
Pyörivä lämmönsiirrin	
Kätisyys	Oikea
Sähköpatterin teho	400 W
Ei jäähdytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Tuotenumero	P09 010 0002
LVI-numero	7935492
Sähkö tiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Äänet:										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tila	52	59	47	41	35	28	19	18	59,9	45,6
Tila: 10 m2 absorptio LpA:										
										41,6
Tulo	55	59	59	58	59	58	51	41	66,1	63,6
Poisto	45	46	46	46	44	37	27	22	52,8	47,9
Ulko	49	49	44	46	35	27	22	18	53,4	44,5
Jäte	54	56	56	58	60	59	50	38	65,6	64,1

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	43 l/s	47 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Suodatustaso:	F7	F5

Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	76 %	78 %
Ilmavirta:	43 l/s	47 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Ottoteho:	38 W	43 W
SFP:	1,72 kW/(m3/s)	
Huipputeho:		
Ilmavirta:	57 l/s	60 l/s
Kanavapaine:	222 Pa	206 Pa
Tehostusvara:	33 %	28 %

Pyörivä lämmönsiirrin:		
Mitoituspisteessä -32 °C / 90 %RH:		
Hyötysuhde:	78,7 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	9,7 °C	
Jälkilämmitystarve:	385 W	

Patterit:		
Lämmityspatteri: 400 W Sähkö Ø125mm sisäinen		
Otsapintanopeus:	3,50 m/s	
Vuosisalkenta: Jyväskylä, Suomi		
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	6094 kWh	
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	309 kWh	
Tuloilman tavoitelämpötila:	17 °C	
Lämpökerroin:	1 kWh sähköä = 7,5 kWh lämpöä	
Vuosihyötysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	71,9 %	

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.

## Ilmanvaihdon parantamisen laskelmat

## Enervent Energy Optimizer (1-2)

## Laskentapalvelut.fi (3)

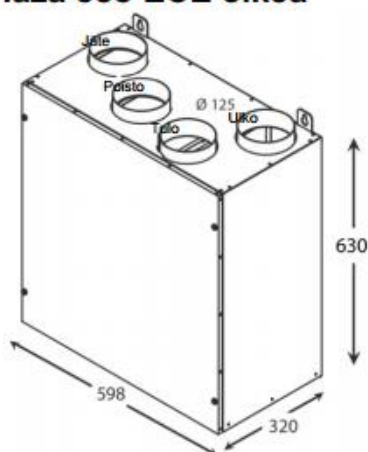
Laskelma Helsinkiin



## Energy Optimizer

Sivu 1  
25.03.2014Kohde:  
Käsittelijä:

## Plaza eco ECE oikea



Laitetiedot: Plaza eco ECE oikea	
Kanavälähdöt	Ø 125 mm
Leveys	598 mm
Korkeus	630 mm
Syvyys	320 mm
Paino	46 kg
Puhaltimen teho	119 W
Pyörivä lämmönsiirrin	
Kätisyys	Oikea
Sähköpatterin teho	400 W
Ei jäähdytystä	
Asennus lämpimään tilaan	
Tuotenumero	P09 010 0002
LVI-numero	7935492
Sähkö tiedot: 230 V/50 Hz, 1-vaihe, sulake 10 A nopea	

Äänet:										
	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	dB	dB(A)
Tila	52	59	47	41	35	28	19	18	59,9	45,6
Tila: 10 m2 absorptio LpA:										41,6
Tulo	55	59	59	58	59	58	51	41	66,1	63,6
Poisto	45	46	46	46	44	37	27	22	52,8	47,9
Utko	49	49	44	46	35	27	22	18	53,4	44,5
Jäte	54	56	56	58	60	59	50	38	65,6	64,1

Mitoitusarvot:	Tulo	Poisto
Ilmavirta:	43 l/s	47 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Suodatustaso:	F7	F5
Tulokset:	Tulo:	Poisto:
Mitoituspisteessä:		
Puhallinnopeus:	76 %	78 %
Ilmavirta:	43 l/s	47 l/s
Kanavapaine:	125 Pa	125 Pa
Ottoteho:	38 W	43 W
SFP:	1,72 kW/(m3/s)	
Huipputeho:		
Ilmavirta:	57 l/s	60 l/s
Kanavapaine:	222 Pa	206 Pa
Tehostusvara:	33 %	28 %
Pyörivä lämmönsiirrin:		
Mitoituspisteessä -26 °C / 90 %RH:		
Hyötysuhde:	78,7 %	
Tuloilma jälkeen LTO:n:	11,0 °C	
Jälkilämmitystarve:	317 W	
Patterit:		
Lämmityspatteri: 400 W Sähkö Ø125mm sisäinen		
Otsapintanopeus:	3,50 m/s	
Vuosisalkenta: Helsinki, Suomi		
Poistoilmasta talteenotettu lämpöenergia:	5342 kWh	
Vuotuinen jälkilämmitystarve:	199 kWh	
Tuloilman tavoitelämpötila:	17 °C	
Lämpökerroin:	1 kWh sähköä = 6,6 kWh lämpöä	
Vuosihyötysuhde: Moniste 122:n mukaisesti	71,9 %	

Yllä mainitut arvot koskevat ilmanvaihtolaitetta, ei ilmanvaihtojärjestelmää.



**LIITE 3(3).****Ilmanvaihdon parantamisen laskelmat****Enervent Energy Optimizer (1-2)****Laskentapalvelut.fi (3)****Lämmöntalteenoton tuomat energiansäästöt (laskentapalvelut.fi)**

Huomiot - ilmanvaihto- ja ilmastointijärjestelmät				
Koneellisen poiston muuttaminen koneelliseksi ilmanvaihdoksi tuo ilmanvaihtoon hallittavuutta ja energiatehokkuutta.				
Toimenpide-ehdotukset ja arvioidut säästöt				
1	Koneellinen tulo ja poisto (Ito=55%) lisääminen/vaihtaminen			
2	Koneellinen tulo ja poisto (Ito=65%) lisääminen/vaihtaminen			
3	Koneellinen tulo ja poisto (Ito=75%) lisääminen/vaihtaminen			
	Lämpö, ostoenegian säästö	Sähkö, ostoenegian säästö	Jäähdytys, ostoenegian säästö	E-luvun muutos
	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWh/vuosi	kWhE/m²vuosi
1	12453 (11.2 %)			-26 (-10.0 %)
2	14828 (13.3 %)			-31 (-11.9 %)
3	17201 (15.5 %)			-36 (-13.8 %)

**Laskennan lähtötietotaulukko**

Käyntiaikapainotettu tuloilmavirta	$q_{v,t}$	0,043	m <sup>3</sup> /s
Käyntiaikapainotettu poistoilmavirta	$q_{v,p}$	0,047	m <sup>3</sup> /s
Tulo- ja poistoilmavirran suhde	$R_{LTO}$	0,91	
Tuloilman lämpötilasuhde	$\eta_t$	80	%
Ilman tiheys	$\rho$	1,2	kg/m <sup>3</sup>
Ilman ominaislämpökapasiteetti	$c_p$	1	kJ/kgK
Sisälämpötila (poistoilman lämpötila)	$t_p (=t_s)$	21	°C
Sisäänpuhallusilman lämpötila	$t_{sp}$	17	°C
Lämpötilan nousu tuloilmapuhaltimessa	$\Delta t_{puhallin}$	1	K
Jäteilman minimilämpötila	$t_{jäte, min}$	-5	°C
Tuloilman maksimi lämpötila lto:n jälkeen	$t_{LTO, max}$	16	°C

**Laskennan tulokset**

Ilmanvaihdon lämmitysenergiatarve		7 MWh/a
Poistoilmasta talteenotettu lämmitysenergia		5 MWh/a
Lämmityspatterin lämmitysenergia		0 MWh/a
Ilmanvaihtokoneen vuosihyötysuhde		67,0 %

Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde (Excel)

Laskentataulukko

							Ei lämpörajoituksia						Jäteilmalla ja LTO:n jälkeisellä tuloilmalla lämpötilarajoitus						
t <sub>u</sub>	pysyvyys	Δτ	t <sub>u,ka</sub>	t <sub>s</sub>	t <sub>jäte,min</sub>	t <sub>ILTOmax</sub>	η <sub>t</sub>	η <sub>p</sub>	t <sub>ILTO</sub>	t <sub>jäte</sub>	Q <sub>iv</sub>	Q <sub>LTO</sub>	t <sub>jäte</sub>	η <sub>p</sub>	η <sub>t</sub>	t <sub>ILTO</sub>	Q <sub>iv</sub>	Q <sub>LTO</sub>	Q <sub>LP</sub>
°C	%	h	°C	°C	°C	°C	%	%	°C	°C	kWh	kWh	°C	%	%	°C	kWh	kWh	kWh
-21	0	0	-21	21	-5	16	80,0	73,2	12,6	-9,7	0	0	-5,0	61,9	67,7	7,4	0	0	0
-20	0,0799	7	-20,5	21	-5	16	80,0	73,2	12,7	-9,4	16	12	-5,0	62,7	68,5	7,9	16	10	3
-19	0,3311	22	-19,5	21	-5	16	80,0	73,2	12,9	-8,6	50	37	-5,0	64,2	70,2	8,9	50	32	8
-18	0,5594	20	-18,5	21	-5	16	80,0	73,2	13,1	-7,9	45	33	-5,0	65,8	71,9	9,9	45	29	6
-17	0,8333	24	-17,5	21	-5	16	80,0	73,2	13,3	-7,2	52	38	-5,0	67,5	73,8	10,9	52	35	6
-16	1,199	32	-16,5	21	-5	16	80,0	73,2	13,5	-6,4	68	50	-5,0	69,3	75,8	11,9	68	47	7
-15	1,872	59	-15,5	21	-5	16	80,0	73,2	13,7	-5,7	121	89	-5,0	71,2	77,9	12,9	121	86	9
-14	2,763	78	-14,5	21	-5	16	80,0	73,2	13,9	-5,0	156	114	-5,0	73,2	80,0	13,9	156	114	8
-13	3,550	69	-13,5	21	-5	16	80,0	73,2	14,1	-4,3	134	98	-4,3	73,2	80,0	14,1	134	98	7
-12	4,349	70	-12,5	21	-5	16	80,0	73,2	14,3	-3,5	132	97	-3,5	73,2	80,0	14,3	132	97	6
-11	4,932	51	-11,5	21	-5	16	80,0	73,2	14,5	-2,8	94	69	-2,8	73,2	80,0	14,5	94	69	4
-10	5,445	45	-10,5	21	-5	16	80,0	73,2	14,7	-2,1	80	58	-2,1	73,2	80,0	14,7	80	58	3
-9	6,050	53	-9,5	21	-5	16	80,0	73,2	14,9	-1,3	91	67	-1,3	73,2	80,0	14,9	91	67	3
-8	7,032	86	-8,5	21	-5	16	80,0	73,2	15,1	-0,6	143	105	-0,6	73,2	80,0	15,1	143	105	4
-7	8,459	125	-7,5	21	-5	16	80,0	73,2	15,3	0,1	201	147	0,1	73,2	80,0	15,3	201	147	5
-6	10,11	145	-6,5	21	-5	16	80,0	73,2	15,5	0,9	224	164	0,9	73,2	80,0	15,5	224	164	4
-5	12,00	166	-5,5	21	-5	16	80,0	73,2	15,7	1,6	247	181	1,6	73,2	80,0	15,7	247	181	3
-4	14,12	186	-4,5	21	-5	16	80,0	73,2	15,9	2,3	267	195	2,3	73,2	80,0	15,9	267	195	1
-3	16,29	190	-3,5	21	-5	16	80,0	73,2	16,1	3,1	263	192	3,1	72,8	79,6	16,0	263	191	0
-2	18,76	216	-2,5	21	-5	16	80,0	73,2	16,3	3,8	287	210	3,8	72,0	78,7	16,0	287	207	0
-1	21,45	236	-1,5	21	-5	16	80,0	73,2	16,5	4,5	299	219	4,5	71,2	77,8	16,0	299	213	0
0	25,03	314	-0,5	21	-5	16	80,0	73,2	16,7	5,3	380	278	5,3	70,2	76,7	16,0	380	267	0
1	31,24	544	0,5	21	-5	16	80,0	73,2	16,9	6,0	629	460	6,0	69,2	75,6	16,0	629	435	0
2	36,80	487	1,5	21	-5	16	80,0	73,2	17,1	6,7	536	392	6,7	68,0	74,4	16,0	536	364	0
3	41,97	453	2,5	21	-5	16	80,0	73,2	17,3	7,5	473	346	7,5	66,8	73,0	16,0	473	315	0
4	45,86	341	3,5	21	-5	16	80,0	73,2	17,5	8,2	336	246	8,2	65,3	71,4	16,0	336	220	0
5	49,08	282	4,5	21	-5	16	80,0	73,2	17,7	8,9	262	192	8,9	63,8	69,7	16,0	262	167	0
6	52,36	287	5,5	21	-5	16	80,0	73,2	17,9	9,7	251	184	9,7	62,0	67,7	16,0	251	156	0
7	55,71	293	6,5	21	-5	16	80,0	73,2	18,1	10,4	240	176	10,4	59,9	65,5	16,0	240	144	0
8	59,01	289	7,5	21	-5	16	80,0	73,2	18,3	11,1	220	161	11,1	57,6	63,0	16,0	220	127	0
9	62,24	283	8,5	21	-5	16	80,0	73,2	18,5	11,9	199	146	11,9	54,9	60,0	16,0	199	110	0
10	65,56	291	9,5	21	-5	16	80,0	73,2	18,7	12,6	189	138	12,6	51,7	56,5	16,0	189	98	0
11	68,80	284	10,5	21	-5	16	80,0	73,2	18,9	13,3	168	123	13,3	47,9	52,4	16,0	168	81	0
12	72,20	298	11,5	21	-5	16	80,0	73,2	19,1	14,0	160	117	14,0	43,3	47,4	16,0	160	69	0
6325 tuntia											7014	5134					7014	4699	87
											η <sub>a</sub> , IV-kone	73,2					η <sub>a</sub> , IV-kone	67,0	

LIITE 5

Talous- ja elinkaarilaskelmat

	Säästö	Säästö	Investointi	i	f	e	r <sub>e</sub>	n <sub>i</sub>	n <sub>e</sub>
	MWh	€	€					a	a
Yläpohja (0,09 Wm <sup>2</sup> K)	2,18	155,50	2000	0,05	0,01	0,02	0,019	21,1	14,9
Ikkunat (1,0 W/m <sup>2</sup> K)	7,06	503,59	22800	0,05	0,01	0,02	0,019	>100	>100
Patteriverk. perussäätö	5,82	415,14	1000	0,05	0,01	0,02	0,019	2,6	2,5
Patteriv. peruss.+vent.	5,82	415,14	2500	0,05	0,01	0,02	0,019	7,3	6,5
LTO	19	1355,27	30000	0,05	0,01	0,02	0,019	>100	29,1
VM + virtaamatark.	1,87	133,39	2000	0,05	0,01	0,02	0,019	28,4	17,9
Aurinkolämpö (50%)	6,183	441,03	25000	0,05	0,01	0,02	0,019	>100	>100
	Kaukolämpö	71,33 €/MWh							
	n <sub>i</sub>	takaisinmaksuaika pelkällä laskentakorolla i							
	n <sub>e</sub>	takaisinmaksuaika 1% inflaatiolla (f) ja 2% eskalaatiolla (e)							